



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS -
PPGCTA

SAMARA TAYNÁ PIMENTA SILVA

**RESÍDUO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE MILHO,
MODIFICAÇÕES FÍSICAS E APLICAÇÃO EM PÃO DE AREPA**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS ESCOLA DE
AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Samara Tayná Pimenta Silva

3. Título do trabalho

RESÍDUO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE MILHO, MODIFICAÇÕES FÍSICAS E APLICAÇÃO EM PÃO DE AREPA

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Soares Soares Junior**, Professor do Magistério Superior, em 12/02/2025, às 08:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Samara Tainá Pimenta Silva**, **Discente**, em 17/02/2025, às 20:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5160555** e o código CRC **8459543E**.

SAMARA TAYNÁ PIMENTA SILVA

**RESÍDUO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE MILHO,
MODIFICAÇÕES FÍSICAS E APLICAÇÃO EM PÃO DE
AREPA**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Caliarí

Goiânia
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva, Samara Tayná Pimenta
RESÍDUO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE MILHO,
MODIFICAÇÕES FÍSICAS E APLICAÇÃO EM PÃO DE AREPA
[manuscrito] / Samara Tayná Pimenta Silva. - 2025.
124 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior; co-orientador
Dr. Márcio Caliarí.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2025.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas,
lista de figuras, lista de tabelas.

1. Zea mays L.. 2. Subproduto. 3. Modificação de farinhas. 4.
Extrusão termoplástica. 5. RVA. I. Soares Júnior, Manoel Soares,
orient. II. Título.

CDU 664



UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 216 da sessão de Defesa de Dissertação de Samara Tayná Pimenta Silva, que confere o título de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos quatorze dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, a partir das nove horas, via videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "RESÍDUO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE MILHO, MODIFICAÇÕES FÍSICAS E APLICAÇÃO EM PÃO DE

AREPA". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Doutor Manoel Soares Soares Júnior (PPGCTA/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Tatianne Ferreira de Oliveira (PPGCTA/UFG), membro titular interno e Doutora Aryane Ribeiro Oliveira (UNB), membro externo. Durante a arguição os membros da banca **não** fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Soares Soares Junior, Professor do Magistério Superior**, em 14/02/2025, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Aryane Ribeiro Oliveira, Usuário Externo**, em 14/02/2025, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatianne Ferreira De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2025, às 11:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_a_cesso_externo=0, informando o código verificador **5160556** e o código CRC **332C11CF**.

Referência: Processo nº 23070.007945/2025-91

SEI nº 5160556

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Maria de Fátima, pelo amor incondicional, pela força nos momentos difíceis e por ser minha maior inspiração, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por sua constante presença em minha vida e por me conceder saúde para concluir mais essa etapa acadêmica.

Agradeço aos meus pais, Maria de Fátima e Luiz Carlos, pelo incentivo e apoio para que eu continuasse meus estudos, e ao meu esposo, Marcos, pela paciência, companheirismo e por me proporcionar as condições necessárias para seguir em frente.

Ao meu filho, Nicolas, que é o maior presente que recebi durante este percurso acadêmico.

Agradeço à empresa parceira Medeiros Alimentos, por possibilitar a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da UFG, por oferecer uma formação de excelência e oportunidades valiosas de aprendizado ao longo dessa jornada. Sou profundamente grata aos professores e coordenadores, cuja dedicação e conhecimento foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Em especial, sou grata ao professor Dr. Manoel Soares Soares Júnior, pela orientação primorosa na elaboração desta dissertação.

Ao professor Dr. Márcio Caliari, coordenador do Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais (Labdarsa), agradeço pelo apoio contínuo, ao técnico Vitor Hugo Pacheco Jardim, e colegas de laboratório, agradeço pela troca de ideias, pelo ambiente colaborativo e por compartilharem suas experiências, que tanto enriqueceram minha pesquisa e contribuíram para o meu aprendizado.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, a todos os colegas da pós-graduação, amigos e familiares, que, de forma direta ou indireta, estiveram ao meu lado durante todo esse processo.

A todos vocês, meu muito obrigada!

EPÍGRAFE

"Não é o que olhamos que importa, mas o que vemos."

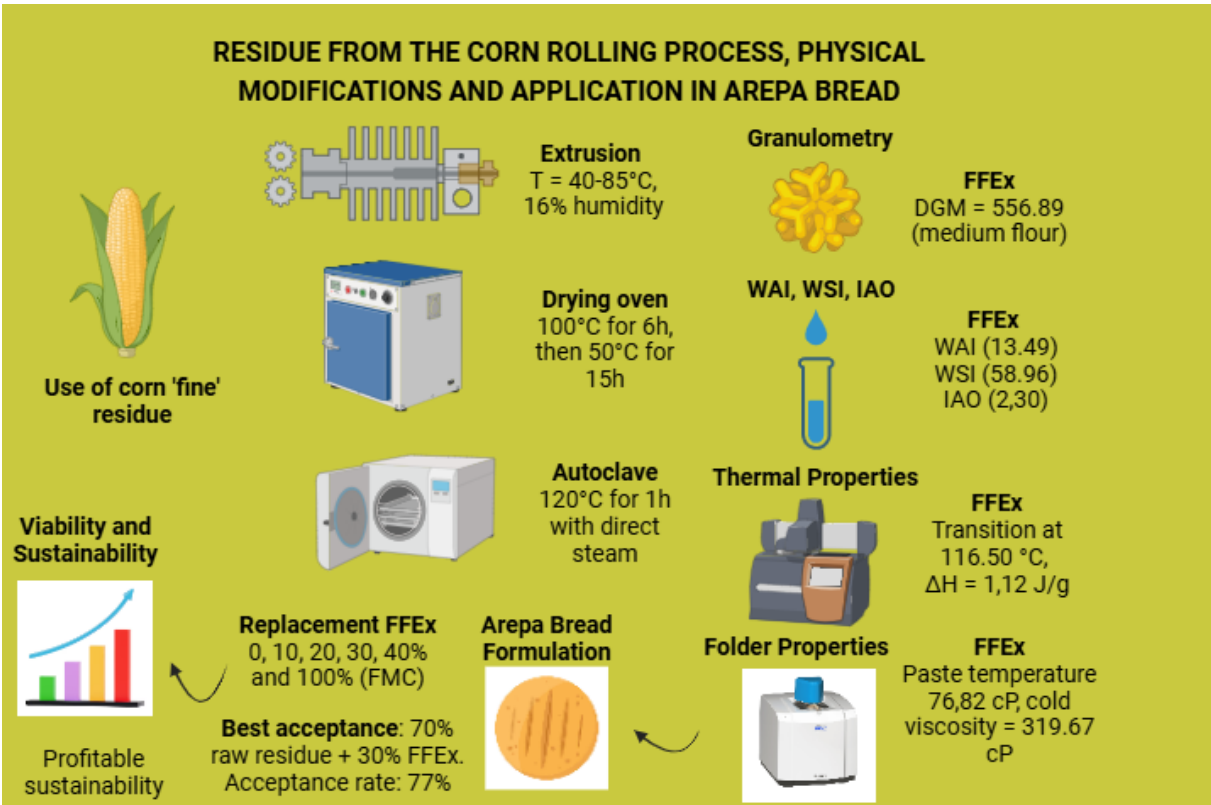
— *Henry David Thoreau*

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade do resíduo “finos,” do processamento de flocos de milho, como ingrediente novo para pão de arepa, visando exportação. Foram testados três métodos de modificação física: extrusão, estufa e autoclave. 1) Em extrusora termoplástica com umidade igual a 16 g 100 g⁻¹ e temperaturas de 40 °C, 60 °C e 85 °C na 1^a, 2^a e 3^a zona do aquecimento; respectivamente; 2) em estufa com circulação de ar, com umidade 30 g 100 g⁻¹ e a temperatura inicial de 100 °C por 6 h, e depois de 50°C por 15 h; e 3) em autoclave com vapor direto sobre o resíduo com umidade de 30 g 100 g⁻¹ e temperatura de 120 °C por 1 h. Os resultados da avaliação da granulometria mostraram que a farinha de finos modificada por extrusão (FFEx) apresentou um Diâmetro Geométrico Médio (DGM) de 556,89, classificando-a como farinha média. Em termos de cor, a FFEx teve o menor valor de L* (85,92), indicando coloração mais escura, e valores elevados de b* (32,59) e C* (32,76), o que a torna ideal para produção de alimentos amarelos. Quanto às propriedades tecnológicas, destacou-se com os mais altos índices de absorção de água (IAA = 13,49) e solubilidade (ISA = 58,96), indicando seu potencial para aplicação em produtos panificados sem glúten, como o pão de arepa. As propriedades térmicas mostraram que a FFEx teve uma temperatura de transição (T_{pico} = 116,50 °C) alta e uma entalpia baixa ($\Delta H = 1,12$), sugerindo maior gelatinização. A extrusão resultou em total gelatinização do amido, com viscosidade a frio (VI = 319,67 cP), também favorável para produtos panificados sem glúten. Assim, a FFEx foi escolhida para ser usada em diferentes níveis de substituição parcial do resíduo em formulações de pão de arepa. A formulação de pão de arepa com melhor aceitação sensorial foi a que combinou 70% de resíduo cru e 30% de FFEx, atingindo um índice de aceitabilidade de 77%, atendendo aos padrões microbiológicos exigidos pela legislação brasileira e de países importadores. O pão de arepa escolhido apresentou todos os atributos sensoriais do pão de arepa comercial, além do melhor resultado para intenção de compra. Comparado com os pães de arepa comerciais, o pão de arepa escolhido apresentou uma faixa de 30 a 60% maior de lipídios e cerca de 24% a mais de proteínas, o que contribui para um perfil nutricional mais balanceado em termos de macronutrientes. Concluiu-se que a utilização desse resíduo na produção de pão de arepa é viável e poderia aumentar a sustentabilidade e o valor agregado do resíduo, sendo adequado para ser comercializado na forma de mistura comercial.

Palavras-chave: *Zea mays* L., subproduto, modificação de farinhas, extrusão termoplástica, RVA, MEV.

GRAPHICAL ABSTRACT



RESIDUE FROM THE CORN ROLLING PROCESS, PHYSICAL MODIFICATIONS AND APPLICATION IN AREPA BREAD

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the feasibility of using the "fines" residue from corn flakes processing as a novel ingredient for arepa bread, targeting export markets. Three physical modification methods were tested: extrusion, oven drying, and autoclaving. 1) In a thermoplastic extruder with 16% moisture content and temperatures of 40 °C, 60 °C, and 85 °C in the 1st, 2nd, and 3rd heating zones, respectively; 2) In an oven with air circulation, 30% moisture content, and an initial temperature of 100 °C for 6 hours, followed by 50 °C for 15 hours; and 3) In an autoclave with direct steam applied to the residue at 30% moisture content and a temperature of 120 °C for 1 hour. The granulometry evaluation results showed that the extruded fines flour (FFEx) had a mean geometric diameter (DGM) of 556.89, classifying it as medium flour. In terms of color, FFEx exhibited the lowest L* value (85.92), indicating darker color, and high b* (32.59) and C* (32.76) values, making it ideal for the production of yellow foods. Regarding technological properties, it stood out with the highest water absorption index (WAI = 13.49) and solubility index (WSI = 58.96), indicating its potential for use in gluten-free bakery products such as arepa bread. Thermal properties revealed that FFEx had a high transition temperature (T_{pico} = 116.50 °C) and low enthalpy ($\Delta H = 1.12$), suggesting higher starch gelatinization. Extrusion resulted in complete starch gelatinization, with cold viscosity (VI = 319.67 cP), which is also favorable for gluten-free bakery products. Therefore, FFEx was chosen to be used at different partial substitution levels in arepa bread formulations. The arepa bread formulation with the best sensory acceptance combined 70% raw residue and 30% FFEx, achieving an acceptability index of 77%, meeting the microbiological standards required by Brazilian legislation and importing countries. In terms of organoleptic properties, the selected arepa bread showed similar evaluations for all attributes compared to commercial arepa bread and the best result for purchase intent. Compared to commercial arepa breads, the selected arepa bread exhibited 30 to 60% higher lipid content and approximately 24% more protein, which contributes to a more balanced nutritional profile in terms of macronutrients. It was concluded that the use of this by-product in arepa bread production is feasible and could enhance the sustainability and added value of the by-product, making it suitable for commercialization as a commercial blend.

Key words: *Zea mays* L., by-product, flour modification, thermoplastic extrusion, RVA, SEM.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADE

AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
ATT	Acidez titulável total
Aw	Atividade de água
a*	Cromaticidade verde-vermelho
b*	Cromaticidade azul-amarelo
b.s.	Base seca
b.u.	Base úmida
C*	Saturação da cor
cm	Centímetros
DGM	Diâmetro geométrico médio
FFA	Farinha de finos modificada em autoclave sob vapor direto
FFE_s	Farinha de finos modificada em estufa com circulação de ar
FFEx	Farinha de finos modificada por extrusão termoplástica
FFMS	Farinhas de finos modificadas
FMC	Farinha de milho pré-cozida para arepa comercial
FT-IR	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier
g	Grama
g min⁻¹	Grama por minuto
H°	Tonalidade
h	Hora
HTM	Tratamento térmico-úmido
IAA	Índice de absorção de água
IAO	índice de absorção de óleo
IE	Índice de expansão
IN	Instrução Normativa
ISA	Índice de solubilidade em água
IU	Índice de uniformidade
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-força
Kgf cm⁻¹	Quilograma-força por centímetro
L*	Luminosidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MF	Módulo de finura
mesh	malha
min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetros
NMP	Número Mais Provável
ODS	Objetivo de desenvolvimento sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Pão de Arepa
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada

rpm	Rotações por minuto
s	Segundos
sic	Assim estava escrito
T	Temperatura
TTBU	Tratamento térmico de baixa umidade
Tg	Temperatura de transição vítrea
t	Tempo
U	Umidade
UFC	Unidades formadoras de colônias
VET	Valor Energético Total

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Anatomia da estrutura dos grãos de milho.....	19
Figura 2	Moagem de milho por via seca e coprodutos produzidos.....	20
Figura 3	Fluxograma de processamento da farinha de milho flocada.....	21
Figura 4	Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.....	23
Figura 5	Representação gráfica da gelatinização do amido.....	28
Figura 6	Esquema de uma extrusora monorosca.....	29
Figura 7	Etapas principais do processamento da farinha de milho para arepas.....	35
Figura 8	Arepas de milho recheadas de carne.....	36
Figura 9	Fluxograma da pesquisa.....	42
Figura 10	Fotografias do resíduo “finos” obtido no processamento da farinha de milho flocada (A); farinha de finos extrusada - FFEx (B); farinha de finos modificada por HTM em estufa – FFEs (C) e farinha de finos modificada por HTM em autoclave – FFA (D).....	55
Figura 11	MEV do resíduo “finos” obtido na produção da farinha de milho flocada (A e B), e das farinhas de finos modificada por extrusão (FFEx) (C e D), em estufa: (FFEs) (E e F); e em autoclave (FFA) (G e H), com ampliações de 1500x e 5000x, respectivamente.....	60
Figura 12	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) das amostras do resíduo “finos” obtido no processamento do flocão de milho e das farinhas de “finos” modificadas fisicamente por extrusão (FFEx), e por tratamentos térmicos em estufa com circulação de ar (FFEs) e autoclave (FFA).....	71
Figura 13	Formulação das arepas de milho grelhadas (PAC) com 100% de substituição do resíduo finos por farinha de milho comercial; (PA20): 20% de substituição do resíduo finos por FFEx; (PA30): 30% de substituição do resíduo finos por FFEx e (PA40): 40% de substituição do resíduo finos por FFEx.....	86
Figura 14	Distribuição da frequência de respostas de intenção de compra das amostras de pães de arepa padrão com 100% de farinha comercial (PAP) e com diferentes arepa padrão com 100% de farinha comercial (PAP) e com diferentes níveis de substituição de FFEx (20, 30 e 40%)	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Percentual (b.s.) de cada fração no grão de milho e distribuição de cada constituinte nas diferentes estruturas anatômicas do grão individualizadas.....	19
Tabela 2	Formulações dos pães de arepa formulados com misturas de diferentes níveis da substituição do resíduo "finos", recuperado na etapa após a laminação do processamento da farinha de milho flocada ou "flocão de milho", por farinha do resíduo extrusada (FFEx), e com farinha de milho pré-cozida para arepa comercial (FMC).....	49
Tabela 3	Distribuição percentual das partículas nas peneiras com diferentes aberturas (mm) módulo de finura, diâmetro geométrico médio das partículas (DGM), índice de uniformidade (IU) do resíduo do processamento da farinha de milho flocada (finos), da farinha de milho para arepa comercial (FMC) e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).....	54
Tabela 4	Parâmetros instrumentais de cor do resíduo "finos", obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).....	56
Tabela 5	Atividade de água, acidez total titulável, composição centesimal (b.u.) e valor energético total (média \pm desvio padrão) do resíduo "finos", obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).....	61
Tabela 6	Índice de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO), e índice de solubilidade em água (ISA) (média \pm desvio padrão) do resíduo "finos", obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).....	68
Tabela 7	Propriedades térmicas das amostras do resíduo "finos", obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).....	73
Tabela 8	Propriedades de pasta (média \pm desvio padrão) do resíduo "finos", obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).....	76

Tabela 9	Atividade de água (Aw), índice de expansão (IE) e parâmetros instrumentais de cor dos pães de arepa produzidos com resíduo recuperado no processamento da farinha de milho flocada (PAC – pão de arepa controle), com a substituição deste por 10, 20, 30 e 40 % farinha de finos extrusada (FFEx) (PA10, PA20, PA30 e PA40, respectivamente), e com 100 % de substituição do resíduo por farinha pré-cozida comercial (FMC).....	81
Tabela 10	Parâmetros de textura dos pães de arepa produzidos com resíduo recuperado no processamento da farinha de milho flocada (PAC – pão de arepa controle), com a substituição deste por 10, 20, 30 e 40 % farinha de finos extrusada (FFEx) (PA10, PA20, PA30 e PA40, respectivamente), e com 100 % de substituição do resíduo por farinha pré-cozida comercial (FMC).....	83
Tabela 11	Perfil microbiológico detectado nos pães de arepa das formulações padrão 100% farinha comercial (PAP); 20% de substituição FFEx (PA20); 30% de substituição FFEx (PA30); 40% de substituição FFEx (PA40) e farinha de finos modificadas fisicamente por Extrusão (FFEx); Estufa FFEx) e Autoclave (FFA).....	84
Tabela 12	Notas sensoriais médias (\pm desvio-padrão), intenção de compra e índice de aceitação de pães de arepa elaborados com a farinha comercial (PAP) e com a substituição de 20, 30 e 40% de finos por farinha de finos modificada por extrusão termoplástica (FFEx).....	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Milho: produção de grãos e processamento	18
2.2 Aproveitamento de resíduos e sustentabilidade	22
2.3 Farinhas de milho comum e modificadas	23
2.4 Processos de modificação física de amido e de farinhas amiláceas	25
2.4.1 Tratamento térmico por extrusão.....	28
2.4.2 Tratamento térmico em estufa	32
2.4.3 Tratamento térmico em autoclave	33
2.5 Pão de arepa	34
3. OBJETIVOS	40
3.1 OBJETIVO GERAL	40
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
4. MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1 Material	41
4.2 Coleta e preparo do resíduo e fluxograma da pesquisa	41
4.2.1 Modificação do resíduo por extrusão termoplástica (FFEx).....	43
4.2.3 Modificação por tratamento térmico úmido (HTM) em autoclave sob vapor direto (FFA).....	44
4.3 Métodos analíticos usados para caracterizar o resíduo e as farinhas modificadas	44
4.3.1 Granulometria.....	44
4.3.2 Cor instrumental	45
4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	46
4.3.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	46
4.3.5 Características físico-químicas e valor energético total (VET).....	46
4.3.6 Absorção de água, absorção de óleo e solubilidade em água.....	47
4.3.7 Propriedades térmicas.....	48
4.3.8 Propriedades de pasta	48
4.4 Formulação e processamento dos pães de arepa	48
4.5 Atividade de água, expansão, cor e perfil textural dos pães de arepa	50

4.5.1	Atividade de água	50
4.5.2	Cor instrumental	50
4.5.3	Índice de Expansão	50
4.5.4	Perfil de textura	50
4.6	Risco microbiológico das farinhas experimentais e do produto final	51
4.7	Aceitação sensorial e intenção de compra dos pães de arepa	51
4.8	Composição proximal e valor energético total do pão de arepa selecionado..	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	Granulometria.....	53
5.2	Cor instrumental.....	55
5.3	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	58
5.4	Características físico-químicas e valor energético total das farinhas experimentais.....	61
5.5	Índice de absorção de água (IAA), de absorção de óleo (IAO), e de solubilidade em água (ISA).....	68
5.6	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).....	70
5.7	Propriedades térmicas	73
5.8	Propriedades de pasta	76
5.9	Seleção da melhor farinha modificada para ser usada na formação dos pães de arepa experimentais	80
5.10	Caracterização físico-química e tecnológica dos pães de arepa.....	80
5.10.1	Atividade de água, índice de expansão e cor instrumental	80
5.10.2	Perfil de textura	82
5.11	Risco Microbiológico das farinhas experimentais e do produto final.....	84
5.12	Aceitação sensorial e intenção de compra dos pães de arepa	85
6.	CONCLUSÃO	90
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	APÊNDICE A - FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL PÃO DE AREPA.....	112
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	113
	APÊNDICE C – ANÁLISES DE VARIÂNCIA (ANOVA) E TESTES DE TUKEY	116
	ANEXO A - COMPROVANTE APROVAÇÃO DO PROJETO PELO COMITÊ DE ÉTICA	123
	ANEXO B – LAUDOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	124

1. INTRODUÇÃO

O milho é a maior cultura agrícola do mundo, com produção superior a 1 bilhão de toneladas anuais, superando outros cereais como arroz e trigo (Contini *et al.*, 2019). Este cereal possui mais de 3.500 aplicações, desde alimentos básicos até produtos industriais, como combustíveis e polímeros (Miranda, 2018). Ele é um componente essencial da dieta em regiões como América Latina, Ásia e África, sendo utilizado em pratos tradicionais, e seu consumo tem crescido em países desenvolvidos, especialmente por sua aplicação em alimentos sem glúten, uma tendência alimentada pela busca por estilos de vida saudáveis e a necessidade de atender a restrições dietéticas (Massarolo *et al.*, 2018; Monsierra; Mansilla; Pérez, 2024).

A demanda por alimentos práticos, enriquecidos e com valor funcional tem incentivado a inovação na indústria alimentícia, levando ao desenvolvimento de produtos como as farinhas de milho pré-cozidas, amplamente consumidas na América do Sul (Sánchez-Madrugal *et al.*, 2015). Dados da Colômbia, por exemplo, indicam que produtos como arroz, macarrão e arepas estão entre os mais consumidos, com frequências de consumo que chegam a 94,8 e 83,1%, respectivamente (Martinez-Miranda; Rosero-Moreano; Taborda-Ocampo, 2019).

O processamento térmico e a modificação física são métodos amplamente utilizados para melhorar as propriedades tecnológicas e nutricionais de farinhas sem glúten. Tratamentos térmicos alteram a estrutura do amido e das proteínas, incluindo as enzimas, aumentando a digestibilidade e melhorando características sensoriais e reológicas (Solaesa *et al.*, 2022). Além disso, técnicas como a extrusão termoplástica são populares na produção de farinhas pré-gelatinizadas, promovendo maior biodisponibilidade e digestibilidade (Fontoura; Ascheri; Bazán-Colque, 2022).

A extrusão e outros tratamentos, como o térmico-úmido e o sob pressão, permitem produzir farinhas modificadas livres de resíduos químicos, agregando valor aos produtos (Gao *et al.*, 2024). Estudos mostram que esses métodos aumentam a capacidade de hidratação e o rendimento de pães, enquanto reduzem a viscosidade e aumentam o teor de amido resistente, como no caso da farinha de milho (Zhang *et al.*, 2016). Essas técnicas tornam-se uma alternativa promissora para o aproveitamento de subprodutos e a produção de novos ingredientes alimentares.

O resíduo “finos” foi escolhido para modificação física devido ao seu tamanho reduzido, alto teor de amido e composição química favorável. Processos térmicos e mecânicos podem melhorar suas propriedades funcionais, como solubilidade e absorção de água, tornando-o um

ingrediente promissor para formulações alimentares e contribuindo para a valorização sustentável de subprodutos agroindustriais (Puttero *et al.*, 2024).

Na Medeiros Alimentos, o processamento de flocão de milho resulta em um desperdício de aproximadamente 1% de resíduo fino, similar ao fubá mimoso, totalizando cerca de 500 kg por dia. Esse volume representa uma perda significativa de matéria-prima que poderia ser reaproveitada de forma estratégica. Atualmente, esse resíduo é descartado ou parcialmente destinado à alimentação animal, mas sua valorização pode transformar um passivo produtivo em uma oportunidade de geração de valor, impulsionando a sustentabilidade e a eficiência econômica da empresa.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento do resíduo “finos” da Medeiros Alimentos na produção de novos ingredientes e pães de arepa. Foram utilizadas modificações físicas como a extrusão termoplástica e tratamento térmico-úmido (com ou sem pressão), seguidos de secagem e moagem visando a obtenção de farinhas modificadas. Suas características físicas, químicas, microbiológicas e estruturais foram analisadas e comparadas, assim como as propriedades tecnológicas, sensoriais e microbiológicas dos pães de arepa com substituição parcial dos “finos” in natura pela farinha modificada selecionada. Além de agregar valor à resíduos agroindustriais, o estudo contribui para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (Fome Zero) da ONU.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Milho: produção de grãos e processamento

No Brasil e no mundo, a produção de grãos é um dos principais setores do segmento agrícola. O milho (*Zea mays* L.) tem grande participação no mercado mundial, ocupando o 3º lugar em consumo amplo (Ventura *et al.*, 2020), e o 1º lugar em produção, seguido pelo arroz e o trigo (Contini *et al.*, 2019). O maior produtor mundial de milho são os Estados Unidos da América, com uma produção de 389,7 milhões de toneladas na safra 2023/24 (Abimilho, 2024), seguido por China, Brasil, União Europeia e Argentina.

A oferta total prevista de milho pelo Brasil deverá atingir 119,1 milhões de toneladas na safra 2023/2024, um decréscimo esperado de 9,6%, comparando-se à safra anterior (Conab, 2024), em decorrência de problemas climáticos. Em relação à participação na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas das grandes regiões e unidades da federação brasileira, a região Centro-oeste apresentou a maior participação com o valor correspondente a 140,2 milhões de toneladas (47,0%) (IBGE, 2024).

O milho é um grão que pode ser consumido fresco, seco ou na forma de seus derivados (Shinohara *et al.*, 2021). Na alimentação humana, o consumo anual per capita no Brasil é de 18 kg em média. Ao nível global, em média 13% do milho (grão seco) é utilizado para fins alimentares, variando de 5,6% na Europa, 7,5% nas Américas, 11,6% na Ásia, até 54,3% na África, contribuindo em algumas áreas com mais de 20% das calorias alimentares (Scarpino; Bresciani; Blandino, 2024). Uma previsão da Food and Agriculture Organization para a utilização global de cereais secundários em 2023/24 foi aumentada, em 2,5 milhões de toneladas, refletindo uma maior utilização prevista de milho, especialmente no México, e de cevada, principalmente na China e em Marrocos (FAO, 2024).

Em uma perspectiva de processamento, o grão de milho é composto por quatro estruturas anatômicas: endosperma, gérmen, pericarpo e ponta, perfazendo até 82%, 11%, 5% e 2% do produto, respectivamente (Figura 1). No processamento tais estruturas podem ser separadas (Ferrazza, 2022). O grão de milho é um alimento energético devido ao alto percentual de carboidratos, principalmente amido, localizado em quase sua totalidade no endosperma. Os lipídeos se concentram principalmente no gérmen, assim como os minerais e açúcares, enquanto as fibras no pericarpo (Tabela 1).

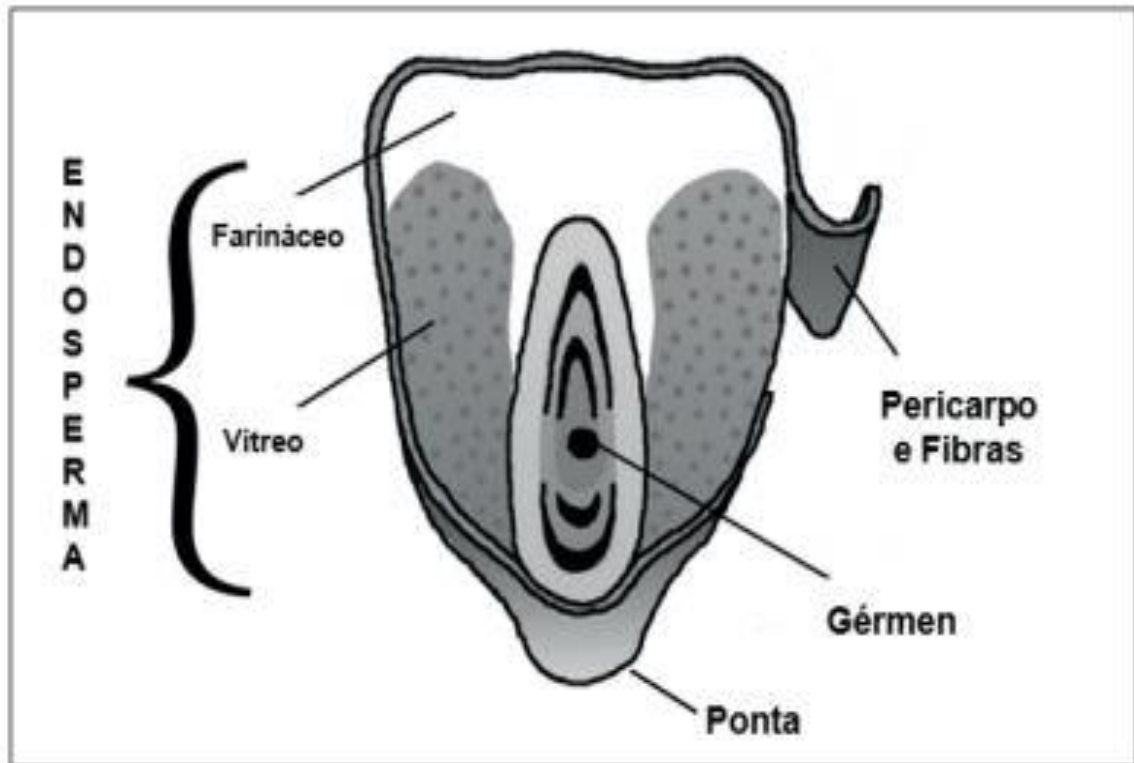


Figura 1. Anatomia da estrutura dos grãos de milho
 Fonte: Ferrazza (2022)

Tabela 1. Composição química proximal do grão de milho e seus componentes

Fração	Grão	Amido	Proteína	Lipídeos	Açúcares	Cinzas
	%					
Endosperma	82	86,4	9,4	0,8	0,6	0,3
Gérmen	12	8,2	18,8	34,5	10,8	10,1
Pericarpo	5	7,3	3,7	1,0	0,3	0,8
Ponta	1	5,3	9,1	3,8	1,6	1,6
Grão Inteiro	100	71,5	10,3	4,8	2,0	1,4

Fonte: Adaptado de Oliveira; Lang; Ferreira (2022)

O grão de milho é um alimento essencialmente energético, 100 g representa 360 Kcal, sendo 71,5 g de carboidrato, 10,3 g de proteínas, 4,8 g de lipídios, 2,0 g de açúcares e 1,4 g de cinzas (Alessi; Raupp; Gardingo, 2003). Dentre os carboidratos que compõe o milho, predomina a fração amilácea (64 a 78 g 100 g⁻¹, base seca), seguido de polissacarídeos não

amiláceo (9,7%), açúcares totais (1%-3%) e lignina (cerca de 1%) (Ferrazza, 2022; Gwartz; Garcia-Casal, 2014).

O milho pode ser industrializado através dos processos de moagem úmida e seca. Inicialmente, a moagem via úmida separa o endosperma, do gérmen e do farelo (degerminação), e em seguida separa o amido, o glúten (proteínas) e fibras remanescentes do endosperma, por meio de processo realizado em peneiras centrífugas (hidrociclones) (Strazzi, 2015).

Na moagem úmida, ao final da separação dos componentes, são obtidos diversos produtos, como: amido, óleo e glúten, e subprodutos (ração de glúten, fibras, farelo de gérmen, sólidos da água de maceração). O amido é utilizado na fabricação de xaropes, enquanto o glúten é utilizado no processamento de análogos de carne, por meio da texturização (Cardoso *et al.*, 2011; Rabie *et al.*, 2024).

A moagem via seca é mais frequentemente utilizada no Brasil devido à menor necessidade de maquinaria sofisticada (Figura 2). As indústrias processadoras de milho por esse processo são geralmente de pequeno porte e quase que totalmente dedicadas ao processamento para consumo local (Embrapa, 2022).

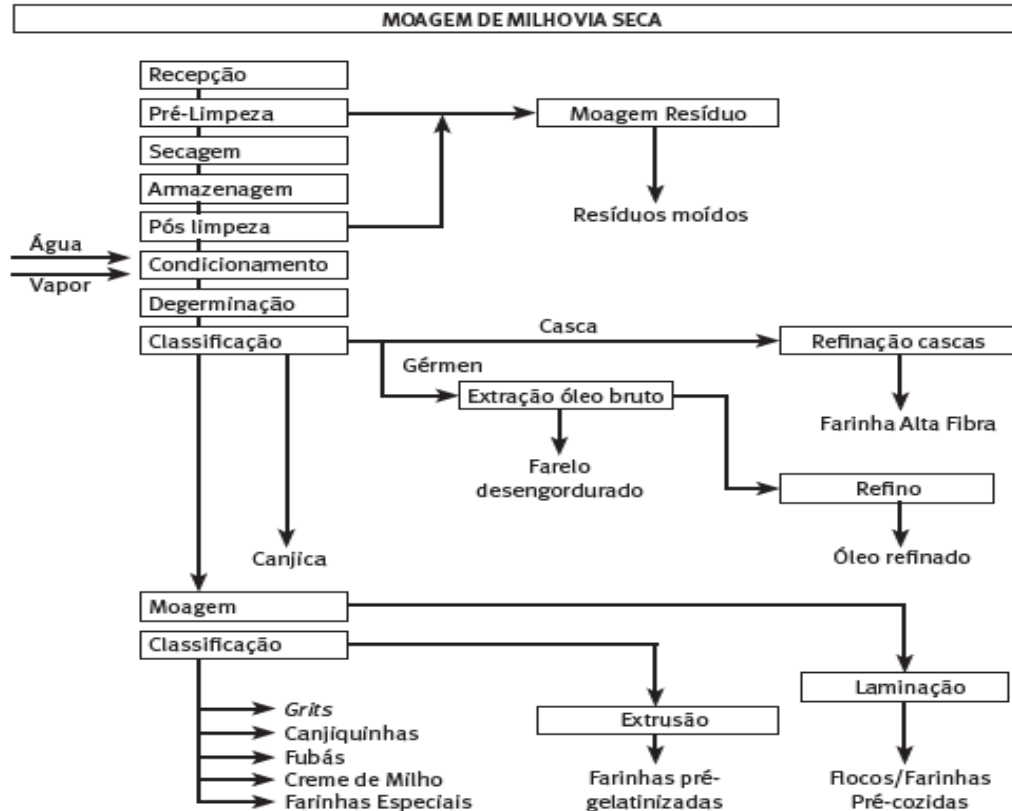


Figura 2. Moagem de milho por via seca e coprodutos produzidos.
Fonte: Adaptado de Strazzi (2015).

O processamento de commodities agrícolas, como o milho, geram coprodutos que envolvem as etapas de colheita, limpeza, moagem ou moagem e a separação dos diferentes componentes dos grãos para obter farinhas, farelo e gérmen. Entretanto, alguns outros coprodutos são frequentemente usados como ração para gado e não se destinam ao uso e consumo humano direto. A maioria destes coprodutos agroindustriais ou resíduos alimentares (quando são descartados) contém enormes quantidades de energia e nutrientes que podem ser reaproveitados em matérias-primas para alimentação animal e reentrar na cadeia de abastecimento alimentar humano. Economicamente, a valorização destes resíduos agroindustriais poderia reduzir diretamente o seu custo de eliminação, trazendo receitas potenciais para a economia rural (Fanelli *et al.*, 2024).

Os principais coprodutos obtidos na moagem por via seca são as canjicas, canjiquinhas, *grits*, farinhas e Sun *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2021). fubás, variando principalmente em função da cor e tipo de milho, a remoção ou não do gérmen e pericarpo e fibras (farelo), e o tamanho das partículas. Também podem ser obtidos outros coprodutos, como flocos de milho pré-cozidos, farinhas de milho pré-gelatinizadas, maceradas, fermentadas e/ou torradas, entre outros (Rabie *et al.*, 2024; Strazzi, 2015), que dependem do tipo de processamento empregado.

A farinha de milho flocada ou flocos de milho pré-cozidos é um produto obtido por meio da laminação de diferentes frações dos grãos de milho degerminado (Brasil, 2017). Neste processo ocorre a formação de pequenas partículas a partir da seleção dos flocos laminados, o que gera um resíduo chamado de “finos”, que poderia se tornar um coproduto se fosse utilizado em outros produtos como ingrediente, conferindo maior sustentabilidade a indústria de farinha flocada (Figura 3).

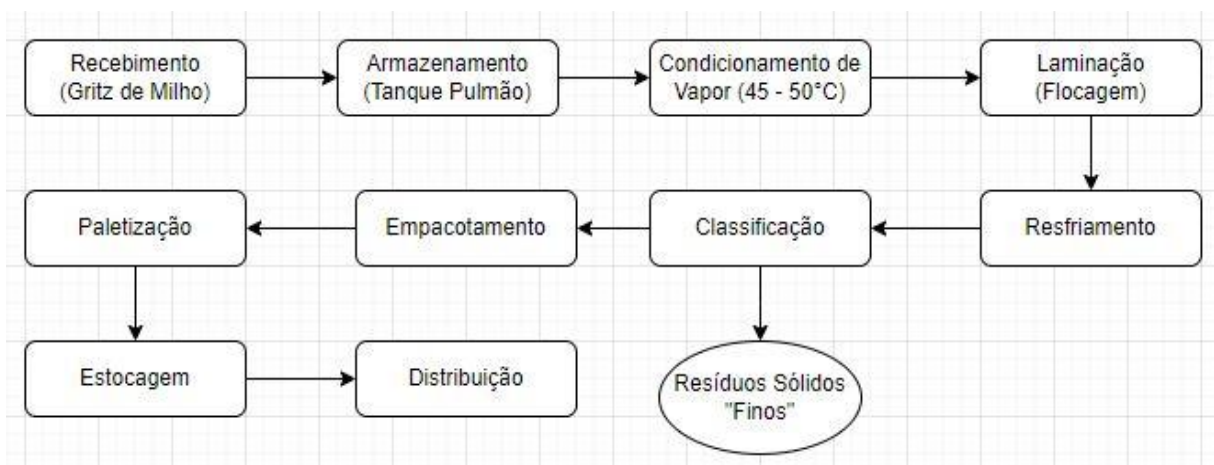


Figura 3. Fluxograma de processamento da farinha de milho flocada.
Fonte: Próprio autor (2024)

O milho é um cereal muito versátil e multifuncional de importância global e seus coprodutos são a base de muitos alimentos, como cereais matinais, mingaus/polenta, tortilhas, arepas, produtos de panificação e, mais recentemente, massas alimentícias e diversos tipos de lanches (Amaral *et al.*, 2019). Segundo dados divulgados pela Secretaria de Comércio Exterior/ME, o estado de Goiás ocupa o 2º lugar como maior exportador do Brasil de farinhas e cereais (15,36 %) (SECEX/ME, 2022).

2.2 Aproveitamento de resíduos e sustentabilidade

As agroindústrias produzem grandes quantidades de diversas formas de resíduos, provenientes de atividades de processamento. Os resíduos gerados podem ser multifásicos e podem consistir em multicomponentes. A quantidade, caracterização e composição desses resíduos dependem das fontes de matéria-prima, tipos de produtos e processos (Senthilkumar *et al.*, 2020).

A redução de 30-50% dos resíduos agroindustriais pode aumentar a disponibilidade de alimentos humanos em 15%. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS) (Figura 4) destacam a importância de reduzir pela metade o desperdício alimentar em cadeias produtivas. Além disso, a valorização desses resíduos tem avançado graças a novas abordagens de engenharia para transformá-los em produtos valiosos (Singh *et al.*, 2021).

O objetivo 2 (fome zero) está intimamente relacionado à agricultura e à segurança alimentar; de acordo com esse objetivo, “é necessária uma mudança profunda no sistema global de alimentos e da agricultura para alimentar os 815 milhões de pessoas que estão com fome hoje e os 2 bilhões de pessoas adicionais que deverão estar subnutridos até 2050”. Assim, a agricultura tem a responsabilidade primordial de encontrar maneiras de fornecer alimentos para essa demanda crescente nos próximos anos. Ao mesmo tempo, também é fundamental a criação de abordagens e estratégias para reduzir os impactos associados à produção agrícola que possam ser considerados prejudiciais ao meio ambiente (Vaz Junior, 2020).

Segundo uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (PESQUISA CNI-IBOPE, 2012), 94% dos brasileiros estão preocupados com o meio ambiente e 26% defendem que o tratamento do lixo e dos resíduos seja prioridade, considerando meio ambiente e qualidade de vida. Ainda sobre as preocupações com o meio ambiente, 52% da população brasileira se mostra disposta a pagar um preço a mais por um produto que tenha sido produzido

de forma ambientalmente correta, mas apenas 18% ainda modifica seus hábitos de consumo em prol do meio ambiente.



Figura 4. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.
Fonte: Nações Unidas (2020)

O aproveitamento de resíduos alimentares é uma estratégia sustentável que reduz desperdícios, contribui para a segurança alimentar e protege o meio ambiente, promovendo práticas mais ecológicas e econômicas (De Oliveira; Mendes, 2021). Segundo Ratu *et al.* (2023), subprodutos agroalimentares, ricos em nutrientes e compostos bioativos, podem ser utilizados como matéria-prima para novos produtos, melhorando a sustentabilidade dos sistemas alimentares e enfrentando o paradoxo do desperdício em uma sociedade com altos índices de insegurança alimentar.

2.3 Farinhas de milho comum e modificadas

Segundo a legislação brasileira RDC n° 711 de 1° de julho de 2022, que dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães, farinhas são os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes,

tubérculos e rizomas por moagem ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos (Brasil, 2022a).

Nos países onde o milho é um alimento básico, as farinhas de milho tendem a ser consumidas por grupos populacionais em todo o gradiente social, independentemente da idade, do sexo, posição socioeconômica ou local de residência. No entanto, as populações numa posição socioeconômica mais baixa e que vivem em áreas menos urbanizadas têm maior probabilidade de depender fortemente do milho (farinha) como alimento básico (Zamora; De-Regil, 2014).

As farinhas de milho são ingredientes utilizados tanto no uso doméstico, quanto em diversos produtos manufaturados. Estas são obtidas moendo os grãos até a obtenção da granulometria e textura desejada, podendo ainda utilizar processamentos complementares para obtenção de produtos com características específicas (Khamidah; Antarlina, 2022). Conseqüentemente, o processamento do milho em farinha pode necessitar de várias etapas especiais que afetam a qualidade da farinha de milho, de modo que os produtos obtidos são chamados de farinhas de milho modificadas. Alguns dos processos que podem ser realizados para produzi-las são fermentação, imersão em água morna, moagem envolvendo enzima e pré-gelatinização (Arum *et al.*, 2021).

O processamento da farinha de milho influencia seu valor nutricional, e a farinha de milho comum tem propriedades biológicas mais vantajosas que as mais processadas (Khamidah; Antarlina, 2022). Os compostos fitoquímicos/antioxidantes do milho podem se diferenciar, devido às diferenças entre as cultivares e estágios de maturação, enquanto tal característica das farinhas de milho também depende do processamento tecnológico utilizado (Khamidah; Antarlina, 2022).

Contudo, o conceito para alimento sustentável do futuro requer a produção de ingredientes que geram uma alimentação mais saudável, e a substituição da farinha de trigo pelas farinhas modificadas, especialmente de milho, tem sido frequentemente estudada em todo o mundo, especialmente para produtos de panificação como biscoitos e pão (Manalu *et al.*, 2024).

As farinhas de milho têm um vasto potencial para o desenvolvimento de novos produtos de panificação, por serem isentas do glúten presente nas farinhas de trigo, cevada, centeio e triticale, causador da doença celíaca (Arum *et al.*, 2021). Embora, a farinha de milho apresente menores teores de proteína bruta em comparação com a farinha de trigo comercial (6,43 e 7,66 g 100 g⁻¹, respectivamente), de carboidratos totais (83,83 e 87,13 g 100 g⁻¹, respectivamente) e

de açúcares redutores (0,61 e 3,75 g 100 g⁻¹, respectivamente), e maior teor de fibras (5,50 e 2,30 g 100 g⁻¹, respectivamente) (Tene *et al.*, 2019).

Além do mais, a incorporação de farinha de milho no pão pode reduzir as propriedades tecnológicas/texturais desejáveis nos pães. Por isso, farinhas modificadas principalmente por métodos físicos ou enzimáticos têm sido usadas para compensar a fraca funcionalidade das farinhas de milho comuns (Patil *et al.*, 2021). Por exemplo, a farinha pré-gelatinizada, obtida no processo de extrusão, onde o material rico em amido é fundido e expandido, devido ao efeito do cisalhamento, pressão e temperatura elevadas, após secagem, é submetido à moagem (Embrapa, 2022). O processo de extrusão é uma das técnicas mais viáveis para obter amidos e farinhas modificadas com a funcionalidade tecnológica desejada. As farinhas de cereais extrusadas têm sido amplamente utilizadas em formulações de produtos para melhor desempenho e qualidade de alimentos manufaturados (Kaur *et al.*, 2024).

2.4 Processos de modificação física de amido e de farinhas amiláceas

As modificações físicas estão entre as técnicas mais práticas e ambientalmente benignas para a criação de novos amidos e farinhas, devido à sua simplicidade, segurança, sustentabilidade (amigável ao meio ambiente), e baixo custo. Tais modificações alteram as propriedades dos amidos nativos e também das farinhas amiláceas (*sic*), ampliando suas aplicações industriais e propriedades tecnológicas (Bemiller, 2018; Frasson *et al.*, 2024; Punia, 2020; Schmiele *et al.*, 2019).

Os tratamentos físicos empregados não alteram as unidades glicopiranosídicas das moléculas e sim a morfologia e estrutura tridimensional dos amidos. O resultado são variações no tamanho das partículas e dos grânulos, nas características de superfície, e nas propriedades funcionais, como nos índices de solubilidade e absorção de água, gelificação e propriedades de pasta (Apostolidis *et al.*, 2023; Bemiller; Huber, 2015; Ferreira; Almeida, 2022; Nawaz *et al.*, 2020). Tais mudanças também podem aumentar os níveis de amido resistente, que confere ao produto funções semelhantes às fibras alimentares (Bemiller, 2019; De Borba *et al.*, 2021).

No setor alimentício, um dos principais interesses na modificação física é a produção de amidos ou farinhas “livre de aditivos”, “processamento mínimo” e “lista simples de ingredientes”, requisitos essenciais para que os alimentos recebam um rótulo limpo (*clean label*) (Park; Kim, 2021). Segundo a RDC 259/2002, amidos modificados fisicamente podem

ser classificados como ingredientes, ao invés de aditivos alimentares, e não precisam ser identificados nos rótulos dos alimentos como amido modificado, tornando-os aceitáveis como produtos naturais (Bemiller, 2018; Brasil, 2002).

Atualmente, tem havido uma demanda crescente por ingredientes alimentares modificados sem adição de constituintes químicos, principalmente devido à preferência do consumidor por produtos naturais e saudáveis. Neste contexto, a modificação física é de grande interesse, principalmente porque não utiliza produtos químicos e não deixa resíduos no alimento, além de não agredir o meio ambiente (Frasson *et al.*, 2024).

Diversos métodos de modificação física envolvem tratamento hidrotérmico ou processos de pré-gelatinização para melhorar as propriedades do amido nativo. As modificações físicas do amido e farinhas amiláceas (*sic*) podem ser classificadas em: térmicas e não-térmicas. (Aaliya *et al.*, 2021).

Entre as modificações térmicas, o tratamento com calor seco (DHT), o tratamento térmico úmido (HMT), o cozimento e os tratamentos em autoclave são os mais comumente utilizados e constituem métodos que podem acarretar modificações na estrutura do amido e das proteínas, com influência na digestibilidade e disponibilidade de aminoácidos, além da possibilidade de reestruturações químicas com outros componentes dos alimentos (Marta *et al.*, 2022b; Moraes *et al.*, 2010).

Os tratamentos térmico úmido (HMT) e o térmico sob pressão (em autoclave) podem efetivamente aumentar o conteúdo de amido resistente das amostras. Envolvem alterações na temperatura, umidade, pressão e tempo de tratamento no processo de modificação, sem produzir qualquer resíduo químico. Portanto, tais tratamentos térmicos possuem ampla perspectiva de aplicação na produção industrial de amido resistente (Gao *et al.*, 2024).

O tratamento térmico úmido (HMT) do amido é uma modificação física que altera as propriedades físico-químicas dos amidos sem destruir sua estrutura granular. Esta técnica é considerada natural e segura quando em comparação com outras modificações, e consiste no aquecimento do amido a uma temperatura acima do seu ponto de gelatinização (90–120°C) com teor de umidade insuficiente (< 35%) para causar o processo de gelatinização (Andrade *et al.*, 2014).

Outra modificação hidrotérmica de amidos refere-se ao tratamento hidrotérmico por “Annealing”, no qual uma suspensão de grânulos de amido é exposta por um período de tempo predeterminado a uma temperatura superior à temperatura de transição vítrea, mas inferior à temperatura de gelatinização, o que permite uma discreta reorganização molecular, sem ocorrer mudanças sobre o tamanho e forma dos grânulos de amido (Balakumaran *et al.*, 2023).

Autoclaves e estufas são os equipamentos mais utilizados para realizar o HMT. Promovem a hidratação da zona amorfa dos grânulos sob alta pressão (autoclaves) e sob pressão atmosférica (estufas). As condições para autoclavagem pelo HMT são alta temperatura, variando de 84 a 140°C baixo teor de umidade (10-35 g 100 g⁻¹) e um período específico de tempo (Frasson *et al.*, 2024).

Os tratamentos térmicos, como técnica de modificação física, foram utilizados por Gu *et al.* (2024b) no processamento de grãos de aveia para obter melhor sabor e propriedades da farinha, principalmente as envolvidas na gelatinização do amido e desnaturação de proteínas. Devido às diferenças nos parâmetros do processamento térmico, como meio de transferência de calor, temperatura, tempo, pressão, teor de umidade, etc., foram produzidos efeitos díspares nas características estruturais das farinhas de aveia modificadas, o que permite ampliar as aplicações dos produtos modificados.

Amido e farinha (*sic*) pré-gelatinizados são produtos modificados fisicamente que passaram por um determinado processo de cozimento (gelatinização completa e secagem simultânea ou posterior). Métodos de pré-gelatinização incluem secagem em tambor, secagem em rolo, cozimento em *spray* e cozimento por extrusão. Esses processos causam inchaço nos grânulos de amido de forma irreversível e provocam a dissolução intermolecular das ligações de moléculas de hidrogênio do amido (Figura 5).

Devido tais alterações, o amido pré-gelatinizado pode solubilizar facilmente em água fria. Além disso, nenhum tratamento térmico é necessário para fabricar a forma pastosa, tornando-a um método adequado para alimentos sensíveis ao calor. Estes amidos modificados são também aplicados para melhorar as propriedades físicas, aumentar a densidade e aumentar a estabilidade dos sistemas coloidais (Jalali *et al.*, 2020; Park; Kim, 2021).

A pré-gelatinização é o tratamento físico mais utilizado para modificar o amido e as farinhas amiláceas (*sic*), e se baseia no aquecimento até a gelatinização (parcial ou completa), seguido por secagem e redução das partículas (Punia, 2020). Resulta na perda da ordem granular do amido e conversão parcial de polímeros em monômeros, conferindo propriedades características, como aumento da absorção e solubilidade em água fria. Tais propriedades variam conforme as condições de cozimento, origem do amido e da técnica de secagem (De Borba *et al.*, 2021). A seguir serão enfocados os tratamentos térmicos utilizados neste estudo para modificação física da farinha de “finos”, obtida a partir do processamento da farinha de milho flocada.

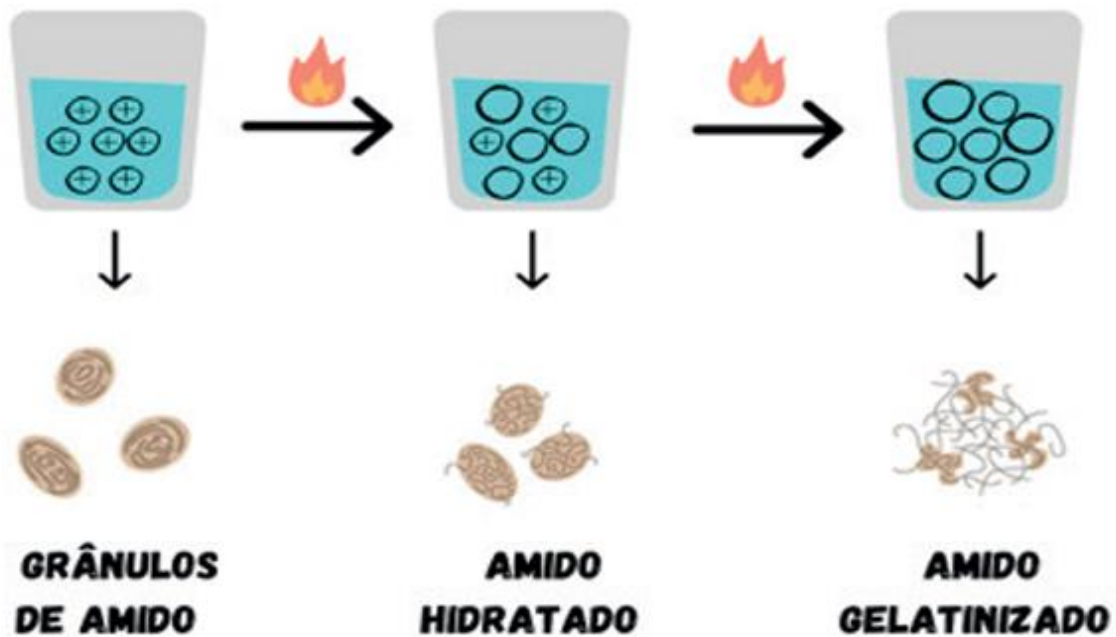


Figura 5. Representação gráfica da gelatinização do amido.
 Fonte: De Borba *et al.* (2021)

2.4.1 Tratamento térmico por extrusão

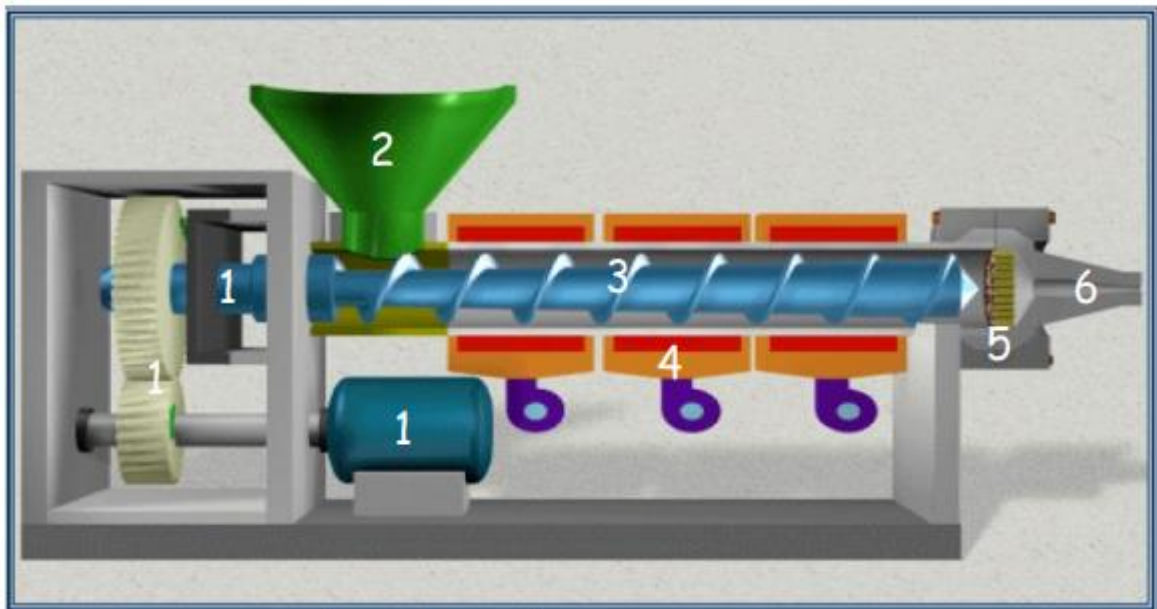
A pré-gelatinização de amidos e farinhas amiláceas pode ser obtida em escala industrial pela utilização da extrusão. Esta tecnologia se apresenta como um dos mais vantajosos métodos para substituir o processo convencional na produção de amidos e farinhas pré-gelatinizadas, devido ao controle mais rigoroso do grau de gelatinização, em que pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados na qualidade do produto final (Da Silva *et al.*, 2013).

A extrusão é definida como um processo HTST (alta temperatura em curto espaço de tempo), no qual a energia mecânica é combinada com o aquecimento para gelatinizar o amido e desnaturar as proteínas, plastificando e reorganizando o material para criar novas formas e texturas, e também tem a capacidade de inativar enzimas, destruir algumas substâncias tóxicas e reduzir a atividade microbiana (De Souza *et al.*, 2011).

A extrusão não gera efluente, podendo contornar o problema da poluição ambiental usando quantidades reduzidas de reagentes e, além disso, pode ser alcançada uma hidrólise adicional do amido, desejável para fins de microencapsulação. Durante o funcionamento do extrusor o amido ou farinha é transportado e comprimido pelo parafuso único ou parafuso duplo e pressionado em direção a uma matriz em alta temperatura e pressão, resultando em alterações

moleculares. As condições de cozimento por extrusão podem converter o amido de um material granular e semicristalino em um material plástico altamente viscoso. Esta conversão é acompanhada pela ruptura da estrutura cristalina dos polímeros de amido e sua redução a moléculas menores (Ashogbon; Akintayo, 2014).

O extrusor de rosca única (Figura 6) foi primeiramente aplicado no processamento de alimentos em 1935, para extrusão contínua de pastas alimentícias. Desde então, tem sido aumentado grandemente o uso de extrusão na indústria de alimentos, particularmente naqueles processos que requerem cozimento ou gelatinização em algum estágio, como na preparação de "snacks", cereais, pastas e produtos de confeitaria (Rossen; Miller, 1973).



Legenda:	
1	Sistema de acionamento
2	Sistema de alimentação
3	Sistema de plastificação
4	Sistema de aquecimento
5	Sistema de degasagem
6	Placa perfurada

Figura 6. Esquema de uma extrusora monorosca.
Fonte: Adaptado de Rauwendaal (1998)

Esse método de modificação minimiza os danos térmicos aos compostos nutricionais, particularmente às proteínas e vitaminas. A maioria dos produtos extrudados é produzida com matérias-primas de cereais (arroz, trigo e milho). Os cereais são comumente utilizados devido à sua alta capacidade de expansão e textura do produto final crocante, que os consumidores

consideram atraente. Entretanto, as propriedades físicas do produto extrusado dependem das variáveis de extrusão, como taxa de alimentação, composição e teor de umidade do material, temperatura do cilindro da extrusora e velocidade da rosca (Dwinata *et al.*, 2024).

O processo de extrusão é um processo baseado em testes experimentais, por isso é necessário buscar um modelo quantitativo que descreva os efeitos das variáveis do processo de extrusão e das formulações de receitas sobre os parâmetros de qualidade física dos produtos extrusados (Cheng *et al.*, 2022). As principais propriedades funcionais dos extrusados envolvem a absorção de água, a solubilidade em água e a viscosidade. Após a cocção por extrusão, as farinhas de alguns cereais são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas (Silva *et al.*, 2013)

O cozimento por extrusão permite grande melhoria também nas propriedades físicas e térmicas, bem como na estabilidade de armazenamento e digestibilidade dos *snacks* expandidos, acompanhados de gelatinização, degradação e variação de cristalinidade do amido, desnaturação de proteínas e formação de complexos de lipopolissacarídeos. A cozedura por extrusão também melhora a segurança devido ao potencial para reduzir os níveis de micotoxinas em cereais (Zhou *et al.*, 2022).

A contaminação fúngica e a infestação por insetos, são as principais causas da deterioração do milho e seus derivados, principalmente as farinhas, os fungos podem causar de 50 a 80% de perdas nos grãos durante o armazenamento em silos, se as condições de temperatura, umidade relativa e controle integrado de pragas não estiverem controladas para evitar a multiplicação biológica e a infestação de pragas. Os principais fungos associados ao armazenamento dos cereais, incluem espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, associado a ausência das boas práticas agrícolas (Negasa; Solomon; Girma, 2019). A presença de aflatoxinas em produtos de cereais, incluindo arroz, milho e derivados como arepa foi demonstrado na Colômbia (Martinez-Miranda *et al.*, 2019).

As propriedades de pasta também podem ser afetadas pela extrusão através do grau de gelatinização do amido. A extrusão afeta outras macromoléculas, como proteínas, resultando em desnaturação, enzima (in)ativação e reações de *Maillard*. Modificações proteicas produzem associação, dissociação e agregação de subunidades por ligações não covalentes e covalentes, que afetam diferentes aspectos da matéria-prima final (Martín-Diana *et al.*, 2022).

A extrusão como processo combina operações de cozimento e mistura. No caso do amido, três possíveis interações podem ser observadas: 1) as proteínas penetram e são adsorvidas no grânulo de amido, 2) agregação de proteínas na fase contínua, e 3) formação de

ligações covalentes e não covalentes entre proteínas com moléculas liberadas do amido (Gamero-Barraza *et al.*, 2024).

A extrusão também pode modificar as propriedades funcionais das farinhas além da gelatinização do amido, por meio da dissolução das fibras e agregação de proteínas. Farinhas extrusadas podem substituir hidrocolóides sendo usados para imitar as propriedades de viscoelasticidade do trigo em alimentos com baixo teor de glúten ou produtos alimentares sem glúten. A farinha de milho extrusada também pode ser um ingrediente saudável sem glúten para indústrias de panificação (Patil *et al.*, 2021).

A extrusão para fazer farinha instantânea é uma boa alternativa para aumentar o mercado de produtos à base de grãos e seus subprodutos na indústria de alimentos, visto que gera produtos microbiologicamente estáveis e seguros para o consumo, além do que o processo pode destruir os fatores anti-nutricionais resultando no aumento da biodisponibilidade de nutrientes presentes nos grãos e seus derivados (Mahenghe, 2018).

Segundo Mutesi (2021), as propriedades tecno-funcionais de uma formulação de farinha instantânea de mingau extrusada foram otimizadas com a velocidade de rosca de 25 Hz, teor de umidade 4% e temperatura de 60 °C, concluindo que tais condições foram suficientes e ideais para produzir uma formulação de farinha instantânea.

De acordo Zhang *et al.* (2018), durante a extrusão, o amido do farelo de trigo foi pré-gelatinizado, e apresentou maior capacidade de competir com as proteínas pela umidade. Além disso, houve redução dos fatores anti-nutricionais e aumento da capacidade de reduzir o colesterol. No entanto, o conteúdo e a estrutura dos componentes do farelo de trigo foram alterados sob as condições de alta temperatura e pressão.

Segundo estudo de Federici *et al.* (2021), na extrusão da zeína (proteína do milho) temperaturas acima de 150 °C geraram um produto com elevada associação de proteínas, que contribuiu para aumentar a viscoelasticidade e propriedades de deformação em massas formuladas sem glúten. Os autores também concluíram que a zeína poderia fornecer maior deformação para massas sem glúten usando tratamentos térmicos prévios para promover a associação supramolecular da zeína.

A tecnologia de extrusão é relativamente complexa, usada principalmente para fazer alimentos prontos para consumo, incluindo massas, cereais matinais, pães, biscoitos, croutons fritos, comida para bebês, salgadinhos, doces, chicletes e proteínas vegetais tufadas. A maioria dos produtos alimentares básicos pode ser obtida por extrusão, e os alimentos extrusados são preferidos pelos consumidores devido às suas diversas formas e matérias-primas (Zhao *et al.*, 2021), além de farinhas pré-gelatinizadas ou instantâneas.

2.4.2 Tratamento térmico em estufa

O tratamento térmico em estufa é definido como uma modificação física realizada com teor de umidade limitado (< 35% p/p), durante um tempo entre 15 min e 16 h, e temperatura entre 84 °C e 120 °C, que excede a temperatura de transição vítrea (T_g), mas não atinge da temperatura de gelatinização, sendo considerado um tratamento térmico de baixa umidade (TTBU ou HMT) (Asranudin *et al.*, 2021).

O TTBU ou HMT é um método físico seguro e sustentável de modificação, no qual o calor úmido envolve e aquece o amido, sendo eficaz e simples de operar. E geralmente, promove mudanças no arranjo estrutural das cadeias de amido dentro das áreas amorfas e cristalinas dos grânulos e interações amido-lipídio e amido-proteína durante o processamento térmico, influenciando a morfologia dos grânulos, a suscetibilidade à hidrólise enzimática, a velocidade da digestão, a estabilidade térmica e a capacidade de intumescimento do amido, além de afetar as propriedades reológicas e texturais, e a retrogradação dos géis de amido (Dorneles; Azevedo; Noreña, 2024; Li *et al.*, 2024).

O TTBU ou HMT também pode alterar a morfologia, o tamanho e a cristalinidade dos grânulos de amido de cereais, e ainda a entalpia do amido de milho ceroso desramificado (DWMS). O grau de mudança depende dos parâmetros utilizados no processamento HMT e da origem botânica da planta (Khurshida; Deka, 2022).

As farinhas e amidos modificados por TTBU ou HMT são capazes de manter a qualidade das propriedades reológicas da massa e tecnológicas do pão quando comparados com os produtos não modificados, devido ao fortalecimento das ligações entre as cadeias de amilose e de amilopectina, processo referido como aglomeração e agregação. Tais processos ocorrem juntamente com o intumescimento dos grânulos de amido e a parcial gelatinização durante a modificação (Subroto *et al.*, 2022).

As alterações químicas que ocorrem durante o processo TTBU ou HMT na farinha são semelhantes às do amido, porque os constituintes proteicos e lipídicos da farinha interagem com as moléculas de amido para criar uma rede maior. O aquecimento pode induzir a desnaturação das proteínas presentes em um sistema de amido, levando à formação de um complexo entre lipídios e amilose na superfície do grânulo de amido, o que pode inibir o seu intumescimento e a gelatinização dos grânulos (Chuwech *et al.*, 2023).

Na aplicação do TTBU ou HMT com estufa em farinha de bata-doce, Zhang *et al.* (2022) sugeriram que as mudanças nas propriedades físico-químicas e propriedades digestivas da farinha foram causadas principalmente pela reconfiguração do interior da estrutura de partículas

da farinha. E ainda reportaram que a farinha de batata-doce tratada por HTM não só obtiveram as mesmas características de baixa digestibilidade e baixa viscosidade semelhante ao do amido de batata-doce após sofrer o mesmo tratamento, mas também de boa estabilidade ao frio e ao calor.

2.4.3 Tratamento térmico em autoclave

O tratamento térmico em autoclave é aplicado para modificação do amido e farinhas amiláceas e proteicas (*sic*) em altas temperaturas com uma faixa de pressão de 3–3,5 bar na presença de umidade por um período específico. A autoclave é o equipamento mais comumente utilizado para realizar o TTBU ou HTM do amido e farinhas amiláceas e proteicas. O tratamento em autoclave promove a hidratação da zona amorfa dos grânulos sob pressão. A camada amorfa do grânulo de amido intumescer na água com pressão crescente, o que causa o rearranjo das duplas hélices da amilopectina (Zheng *et al.*, 2020).

O tratamento em autoclave desorganiza os grânulos de amido, o que leva ao aumento da disponibilidade de cadeias de amilose e de amilopectina para desenvolver mais as inter ou intra-associações, a depender do tipo de amido, da pressão e da temperatura da autoclave. O tratamento em autoclave influencia notavelmente a digestibilidade do amido através da formação de amido resistente pelas associações de cadeias de amido recém-formadas (Aalyia *et al.*, 2021).

Na pesquisa realizada por Bento *et al.* (2023) foram avaliadas as alterações causadas pelo cozimento do feijão carioca no vapor direto de autoclave, com foco em seus componentes bioativos, atividade antioxidante e compostos nutricionais. Os autores concluíram que o cozimento do feijão em autoclave sob vapor direto afetou o perfil químico das farinhas de feijão carioca, e essas alterações foram dependentes das cultivares de feijão. E ainda que, as cultivares Imperador e Gol mostraram que seriam mais adequadas para produzir farinhas cozidas em autoclave após maceração, como ingredientes alimentícios, por reterem parte de sua atividade antioxidante e compostos bioativos, como polifenóis e saponinas.

No estudo de Chang *et al.* (2014) com amido de milho e ácido láurico, o TTBU retardou a gelatinização, sendo o teor de umidade de 40 g 100 g⁻¹ ideal para a formação do complexo amilose-lipídio, e a adição do ácido graxo antes do aquecimento favoreceu a formação de amido de digestão lenta. Em um estudo sobre propriedades físico-químicas e digestibilidade *in vitro* de arroz após parboilização associada com TTBU. Cheng, Chen e Yeh (2019) mostraram que

esses dois tratamentos induziram a formação do complexo amilose-lipídio, aumentando a concentração de amido de digestão lenta e do amido resistente.

Quando os amidos são modificados com excesso de umidade e submetidos ao aquecimento por autoclavagem à alta pressão na temperatura de 121 °C por 20 a 30 min são produzidos amidos ricos em amilose e com alto teor de amido resistente. Este processo quebra a estrutura granular do amido para produzir solubilizados e frações não solubilizadas de estruturas de amilose e/ou amilopectina na forma de amido gelatinizado (Agama-Acevedo *et al.*, 2018).

Normalmente, o amido nativo é modificado para o amido resistente tipo 3 por uma combinação do processo de gelatinização-retrogradação. Durante a etapa de gelatinização, o aquecimento dos grânulos de amido com excesso de água rompe a estrutura granular do amido, enquanto, nas etapas de retrogradação, amilose e amilopectina recristalizam lentamente (Raungrusmee; Anal, 2019).

Estudos anteriores relatam que a modificação física utilizando autoclave, tem como principal característica, a pré-gelatinização dos amidos, permitindo sua dispersão em água fria e reduzindo a energia necessária para que o processo ocorra, o que está correlacionado com a quebra da estrutura granular, resultando na alteração das propriedades de pasta e propriedades tecno-funcionais (como absorção e solubilidade em água) (Paixão; Silva *et al.*, 2021).

A investigação da influência da hidrotermia no amido de milho ceroso, conduzida por Banerjee e Kumar (2024), demonstrou a influencia do tempo de modificação por calor sob pressão (autoclave) e evidenciou que esse tratamento térmico aumentou a tensão de cisalhamento e a viscosidade dos géis, indicando ruptura da rede de amido.

Em pesquisas anteriores com modificação em autoclave, foram reportadas alterações na morfologia dos grânulos, aumento da absorção e solubilidade em água, aumento da estabilidade térmica (com zona cristalina aumentada) e retrogradação reduzida, em amidos de araruta, aveia, arroz e batata doce (Babu; Parimalavalli, 2013).

2.5 Pão de arepa

Colômbia e Venezuela possuem geografia semelhante, clima tropical e influência cultural da Espanha e da África no seu padrão alimentar. Tradicionalmente, os dois países compartilham alimentos, preparações e costumes semelhantes, como a arepa à base de farinha

de milho. O café da manhã é semelhante nos dois países, com alimentos como café, arepa, queijo e ovo (Bernal, 2017). Portanto, a arepa é um produto básico a base de milho na América do Sul, especialmente na Venezuela e na Colômbia. Trata-se de um pão frito, grelhado ou assado preparado com farinha de milho refinada pré-cozida.

Na Venezuela o consumo de farinha de milho pré-cozida per capita foi de 80 g dia⁻¹ para a população total em 1994 (Chavez-Pérez, 1995). Arepas são uma comida básica venezuelana e o alimento mais comum; eles é um pão de milho especial que substitui o pão de trigo branco. A composição química da arepa apresenta baixo teor de fibra (menos de 2 g 100 g⁻¹), alto teor de carboidratos (40,5-37 g 100 g⁻¹), amido de alta disponibilidade (35-37 g 100 g⁻¹) com alto teor de amilopectina. Esta composição faz da arepa um produto com preparação de alta digestibilidade (Souki-Rincón *et al.*, 2008).

O processo tradicional de preparação de arepas caseiras envolve imersão, cozimento, resfriamento, drenagem, moagem e formação de um pedaço de massa para grelha adicional ou cozimento (Gwartz; Garcia-Casal, 2014) (Figura 7).

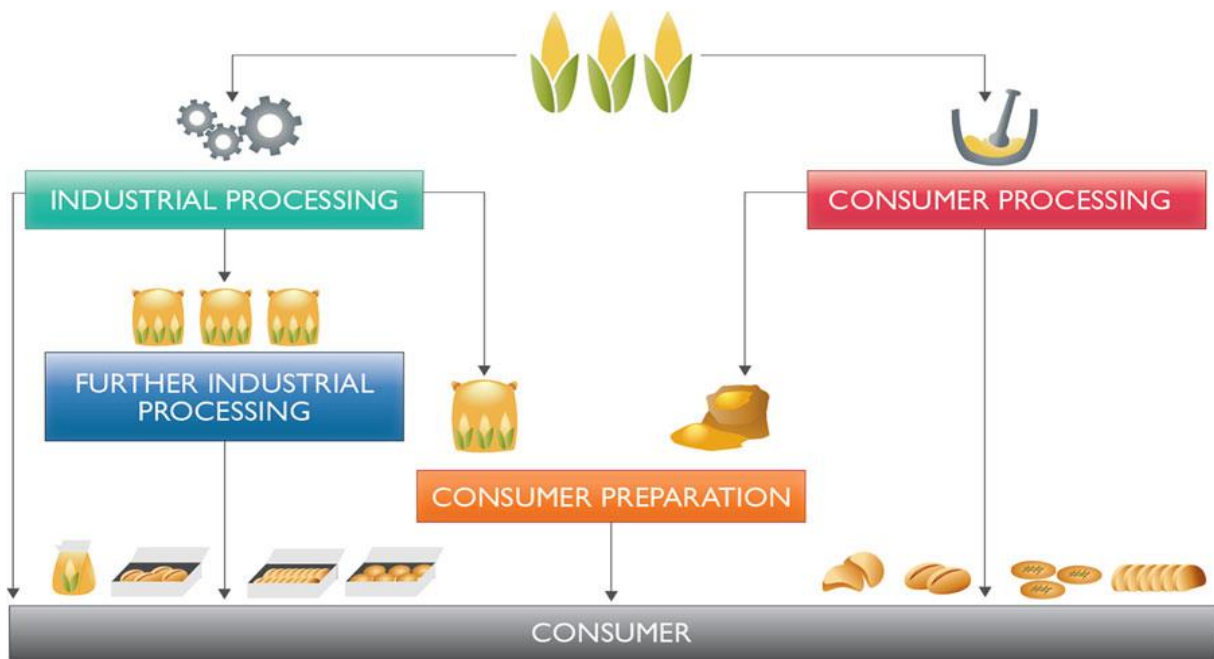


Figura 7. Etapas principais do processamento da farinha de milho para arepas.
Fonte: Gwartz; Garcia-Casal (2014)

O tempo de processamento leva cerca de 18 horas ou mais para ser concluído em casa. O método tradicional foi modificado com a introdução da farinha de milho pré-cozida. Este processo inclui condicionamento, cozimento, descamação, secagem, moagem e peneiração para produzir farinha de arepa refinada pré-cozida seca e instantânea. A farinha pode ser transportada

e armazenada facilmente até ser utilizada em casa. O preparo é reduzido para menos de uma hora, tornando-o mais prático para o consumidor (Gwirtz; Garcia-Casal, 2014).

A arepa de milho é uma massa de milho cozida e pré-formada, geralmente em forma circular e parcialmente achatada, que é assada, grelhada ou frita, podendo ser consumida sozinha, acrescentando algo por cima ou recheada (Figura 8).



Figura 8. Arepas de milho recheadas de carne
Fonte: Buenas Dicas (2019).

A arepa de milho pode ser consumida como prato principal ou como acompanhamento. E uma vez que a mesma é uma parte essencial da dieta, ela costuma fazer parte do cardápio pelo menos uma vez por dia. Este produto pode ser encontrado em qualquer cidade da Colômbia e da Venezuela e sua venda e distribuição pode ocorrer em diferentes apresentações (pré-cozido e embalado pronto para aquecer e comer), ou pacote de farinha pronta para preparar a arepa (Martínez-Lara *et al.*, 2023; Posada; Rivera; Delgado, 2013).

Muitos produtores de arepa enfrentam o desafio de garantir que o produto possa ser adquirido e consumido sem sofrer deterioração devido ao crescimento de bolores e leveduras, que aparecem macroscopicamente no produto, e cuja principal fonte é a contaminação cruzada durante o processo produtivo. A norma 5372 do CNT colombiano estabelece um limite máximo permitido para bolores e leveduras de 100 UFC g⁻¹ para identificar uma boa qualidade microbiológica para os pães de arepa (Gamba *et al.*, 2016).

Na Venezuela, o setor agroindustrial direciona o milho principalmente para a moagem a seco do grão e para a produção de farinha de milho pré-cozida, daí derivam preparações típicas da mesa venezuelana, como arepa, *hallacas*, empanadas, entre outros, que fazem parte da dieta

diária do venezuelano. A verificação de sua qualidade é baseada no cumprimento das disposições da Comissão Venezuelana de Normas Industriais (COVENIN 2135: 2017), que define os parâmetros físico-químicos, sensoriais e microbiológicos (Quadro 1) e (Quadro 2) a serem atendidos para sua venda e posterior consumo, de forma a garantir a venda de um produto inócuo e com qualidade comercial aceitável (Olaechea; Chaparro, 2020).

Quadro 1. Parâmetros físico-químicos de farinha de milho pré-cozida (COVENIN 2135:2017)

Componente	Requisito
Umidade (% máx.)	13,5
Cinzas (% máx.)	1,0*
Lipídeos (% máx.)	2,3*
Proteínas (% mín.)	7,0*
Expansão em cm (máx.)	8,5

*Porcentagem em base seca

Quadro 2. Parâmetros microbiológicos de farinha de milho pré-cozida (COVENIN 2135: 2017), utilizada para a produção do pão de arepa

Parâmetros	Limite			
	n	c	m	M
Bolores (UFC/g) (*)	5	3	$5,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^4$
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g) (*)	5	3	9	93
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g) (*)	5	3	10	100
<i>Salmonella spp.</i> / 25 g	5	0	0	-

(*) De acordo com a recomendação da COVENIN 409:1998. Onde: n: Número de amostras do lote. c: Número de amostras contaminadas; m: Limite mínimo. M: Limite máximo.

A característica considerada mais importante no milho, como matéria-prima industrial para obtenção de farinha pré-cozida para arepa, é a maior proporção de endosperma cristalino (rico em amilopectina). A farinha de milho é obtida a partir do endosperma e sua contribuição nutricional se deve principalmente ao seu teor de proteínas e carboidratos. O processamento do milho para obtenção de farinha pré-cozida consiste basicamente em três etapas: degerminação, laminação e moagem (Hernández; Guerra; Rivero, 1999).

No processamento industrial de farinha de milho pré-cozida para arepa, a moagem acontece em moinho industrial do tipo martelo que funciona com alta rotação de “martelos”

acoplados a uma peça giratória, que quando em alta velocidade, atinge o grão causando sua quebra, logo após é realizada a laminação onde também pode ser adicionado o mix de vitaminas para enriquecimento com ferro e ácido fólico (Embrapa, 2022).

Exceto pelo seu teor de proteínas, a farinha de milho para produzir pão exibe qualidades nutricionais superiores em comparação com outros cereais. No entanto, a massa formada possui capacidade limitada de retenção de gases, o que torna a farinha de milho menos adequada para a produção de produtos assados aerados, comparando-se com a estrutura típica de espuma aerada característica da proteína do glúten presente na farinha de trigo. No entanto, a farinha de milho pré-gelatinizada é ideal para a estrutura do pão de arepa (Jesulagba *et al.*, 2024).

As farinhas pré-cozidas comparadas com as cruas apresentam menor índice de solubilidade em água, viscosidade de pico, viscosidade final, viscosidade de quebra, dureza, adesividade, resiliência e capacidade de emulsificação, uma vez que, possuem amido pré-gelatinizado. Desse modo, os processos de preparação de pré-cozimento melhoram as características tecnológicas das farinhas para determinadas aplicações, como para pães e massas alimentícias sem glúten (Bento *et al.*, 2021), como por exemplo as arepas de milho.

As farinhas pré-gelatinizadas de leguminosas e cereais, como a lentilha e o milho, preparadas por extrusão-cozimento, apresentam alteração das propriedades hidrocoloidais, tornando-se adequadas para a formulação de produtos de panificação. Após a reidratação, de fato, a fração amilácea das farinhas pré-gelatinizadas de cereais extrusadas forma um meio viscoso, permitindo o aprisionamento de bolhas de ar na levedura da massa de produtos sem glúten. (Pasqualone *et al.*, 2022).

Depois de um tratamento hidrotérmico, aplicado via secagem em tambor ou extrusão, o amido isolado ou o amido presente na farinha podem gelatinizar formando amido pré-gelatinizado ou farinha instantânea (pré-cozida). A intensidade do tratamento de extrusão, determinado pela temperatura, teor de umidade inicial e velocidade da rosca, leva a vários graus de gelatinização do amido e desnaturação de proteínas modificando a funcionalidade da farinha (Matia-Merinoa *et al.*, 2019).

Delahaye e Peña (2006) avaliaram o efeito do farelo de arroz estabilizado em alguns atributos físicos, químicos e sensoriais de pães de arepa armazenados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e formulados com a substituição a 5, 10 e 15% de farinha de milho branco pré-cozidas pelo coproduto. Foi observado aumento no teor de gordura (de 0,64 a 1,90 g 100 g⁻¹); fibra alimentar total (de 1,68 a 4,43 g 100 g⁻¹); cinzas (0,43 a 0,95 g 100 g⁻¹) e proteínas (3,00 a 3,60 g 100 g⁻¹).

Segundo Schnell, Delahaye e Mezones (2005), a adição de farelo de arroz ao pão de arepa aumentou o teor de amido resistente e fibra alimentar medido como fibra alimentar total, solúvel e insolúvel. Também aumentou o teor de proteína da arepa.

Hernández, Guerra e Rivero (1999) formularam farinhas compostas pelo gérmen de milho desengordurado (GD), um subproduto da produção industrial de óleo, e farinha de milho do endosperma. Foram feitas misturas substituindo farinha pré-cozida em 6, 8, 10 e 12% do gérmen de milho desengordurado (GD). Os autores elaboraram as arepas com as farinhas compostas e avaliaram a aceitação sensorial. As arepas preparadas com 6% de GD foram preferidas quando comparadas às arepas feitas com a farinha de milho pré-cozida controle.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a viabilidade de utilização do resíduo “finos” recuperado no processamento de flocos de milho, na produção de novos ingredientes e pão de arepa.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas, químicas, tecnológicas e microbiológicas do resíduo "finos".
- Utilizar a extrusão termoplástica e os tratamentos térmicos de baixa umidade (TTBU) em estufa com circulação de ar e em autoclave sob vapor direto, para produzir farinhas modificadas a partir dos "finos".
- Comparar as características físicas, químicas e tecnológicas das farinhas modificadas.
- Avaliar o efeito da substituição parcial (0, 10, 20, 30 e 40%) dos "finos" pela farinha modificada selecionada sobre as características físicas e tecnológicas dos pães de arepas, e ainda comparar com as características do pão de arepa elaborado com farinha de milho pré-cozida comercial.
- Avaliar o risco microbiológico e a aceitação sensorial dos pães de arepa, incluindo os atributos de cor, aparência, sabor, textura e impressão global, além da intenção de compra.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

O griz de milho usado no processamento da farinha de milho flocada (flocão) foi submetido no condicionador à injeção de vapor direto com pressão entre 4,0 a 6,0 kgf cm⁻¹ por um tempo aproximado de 15 s, suficiente para atingir uma temperatura ao redor de 40 °C e umidade de no máximo 11 g 100 g⁻¹. O resíduo “finos” gerado na etapa de classificação, logo após a etapa de laminação e resfriamento do flocão de milho, foi doado pela empresa parceira Medeiros Alimentos, localizada na cidade de Goiânia/GO (Latitude: 16° 40' 13.942" Sul, Longitude: 49° 19' 16.608" Oeste), e utilizado para a obtenção das farinhas modificadas e pão de arepa experimentais. A farinha de milho pré-cozida comercial utilizada na preparação das arepas, para comparação com as arepas obtidas com as farinhas experimentais, foi adquirida de uma empresa fabricante regional do estado de Goiás, localizada no município de Anápolis.

4.2 Coleta e preparo do resíduo e fluxograma da pesquisa

As amostras do resíduo oriundo do processamento da farinha de milho flocada, denominado “finos”, foi coletado diretamente na área de processamento da empresa parceira no ponto da etapa de resfriamento, logo após a laminação, sendo dividida em seis lotes produzidos nos meses de setembro/2022, agosto/2023, novembro/2023, fevereiro/2024, abril/2024 e junho/2024. Uma média de 2 kg de cada lote foi coletada e imediatamente após, embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenadas sob refrigeração a temperatura de 4 °C até posterior processamento das farinhas modificadas por extrusão, autoclave ou estufa com circulação de ar, processamento dos pães de arepa com diferentes níveis de substituição do resíduo finos pela farinha de finos modificada selecionadas, e análises (Figura 9).

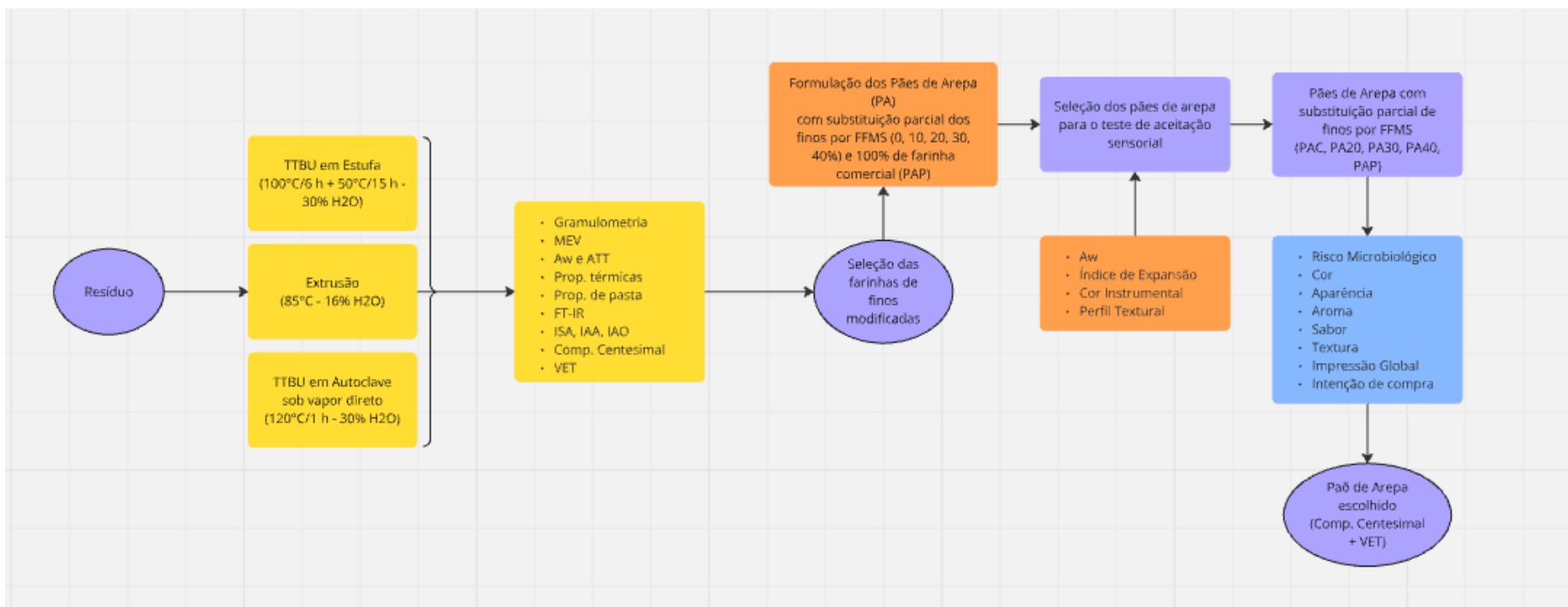


Figura 9. Fluxograma da pesquisa
Fonte: Próprio autor (2025)

4.2.1 Modificação do resíduo por extrusão termoplástica (FFEx)

Os equipamentos utilizados para o tratamento térmico das farinhas experimentais foram disponibilizados pelo Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais (Labdarsa) da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás - UFG. O resíduo “finos” foi acondicionado com água destilada, usando um aspersor manual, para atingir 16 g 100 g⁻¹ de umidade (Equação 1). Em seguida foi embalado em saco de PEBD e mantido sob refrigeração a 4 °C ± 1 °C (*over night*), para homogeneização da umidade.

$$Q = \frac{U_d - U_i}{100 - U_d} \times P \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Q = Quantidade de água a ser adicionada (mL).

U_d = Umidade desejada (%).

U_i = Umidade inicial (%).

P = Quantidade de amostra (g).

As condições de extrusão foram estabelecidas após a realização de testes preliminares. Extrusora monorosca (Inbramaq, PQ-30, Ribeirão Preto, Brasil) foi utilizada, com rotação do parafuso de 60 Hz (250 rpm), abertura de matriz circular de 3 mm em diâmetro, pré-matriz com 32 orifícios, parafuso com três entradas e taxa de compressão de 3:1, jaqueta da matriz helicoidal e taxa de alimentação de 120 g min⁻¹. As temperaturas no primeiro, segundo e terceiras zonas de aquecimento foram de 40 °C, 60 °C e 85 °C, respectivamente.

O material extrusado foi mantido a 60 °C por cerca de 3 h em estufa secadora com circulação de ar (Tecnal, TE-394/4 – MP, Piracicaba-SP, Brasil), para reduzir o teor de umidade abaixo de 15 g 100 g⁻¹, em conformidade com o preconizado pela legislação brasileira Resolução - RDC n° 711, de 1° de julho de 2022 que estabelece o limite máximo de umidade para farinhas (Brasil, 2022b).

O material extrusado seco foi triturado em multiprocessador (Philco, All in one 2, Nazaré Paulista, Brasil), moído em moinho de café (Cadence Di Grano, MDR302, Balneário Piçarras, Brasil), peneirado até obter tamanho de partícula com granulometria menor que 0,250 mm (60 *mesh*), embalado em laminado tipo BOPP metalizado com Ziplock® (barreira à luz e

umidade), e armazenado sob temperatura de refrigeração a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, até posterior análise, passando a ser denominado farinha de “finos” extrusada (FFEx).

4.2.2 Modificação por tratamento térmico úmido (HTM) em estufa com circulação de ar (FFE)

O resíduo também foi processado de acordo com o método descrito por Marta *et al.* (2022a), com modificações. Inicialmente, o material foi acondicionado para o teor de umidade de $30\text{ g } 100\text{ g}^{-1}$ (Equação 1), embalado em sacos de PEBD, e mantido sob refrigeração de acordo com o item 4.2.1. O resíduo acondicionado permaneceu em estufa com circulação de ar (Tecnal, TE-394/4 – MP, Piracicaba-SP, Brasil) a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 6 h, e depois a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 h. Em seguida, o resíduo tratado termicamente foi moído em moinho de café e passado em peneira com orifícios de $0,250\text{ mm}$ (60 mesh), embalado e armazenado de acordo com o item 4.2.1, passando a ser denominado farinha de “finos” modificada por HTM em estufa de circulação de ar (FFE).

4.2.3 Modificação por tratamento térmico úmido (HTM) em autoclave sob vapor direto (FFA)

O resíduo foi modificado em autoclave sob vapor direto de acordo com o método proposto por Bento *et al.* (2023), com adaptações. A amostra foi ajustada para o teor de umidade de $30\text{ g } 100\text{ g}^{-1}$ (Equação 1), embalada e mantida sob refrigeração de acordo com o item 4.2.1. Em seguida, foi transferido para sacos de rafia e aquecido a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 h em pressão de 15 psi em autoclave vertical (Phoenix, AV-75, Araraquara-SP, Brasil), sob vapor direto. Logo após, o material foi removido dos sacos de rafia, resfriado à temperatura ambiente, e seco a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h em estufa de secagem com circulação de ar, moído, peneirado, embalado e armazenado, de acordo com o item 4.2.1, passando a ser denominado farinha de “finos” modificada por HTM em autoclave (FFA).

4.3 Métodos analíticos usados para caracterizar o resíduo e as farinhas modificadas

4.3.1 Granulometria

As frações granulométricas foram determinadas em triplicata de cada amostra usando um agitador eletromagnético de peneiras (Bertel, VP-01, Caieiras, Brasil), segundo

metodologia descrita por Zanotto e Bellaver (1996). Amostras de 100 g do resíduo e das farinhas modificadas utilizada na preparação das arepas, foram peneiradas durante 15 min em um conjunto de peneiras (com diâmetro dos orifícios de 0,600, 0,180, 0,150, 0,125, 0,075 mm). As quantidades retidas em cada peneira e na base foram pesadas e expressas em porcentagem. A partir da quantificação do que ficou retido nas peneiras foram determinados o módulo de finura (MF), o diâmetro geométrico médio das partículas (DGM) (Equações 2 e 3, respectivamente), e o índice de uniformidade (IU) (Equação 4), conforme metodologia descrita por (Green; Perry, 2007).

$$DGM = 0,1041 (\sqrt{2})^{MF} \quad (\text{Equação 2})$$

$$MF = (\sum \% \text{ peso} \times \text{índice}) / 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$IU = (G/10, M/10, F/10) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

DGM = Diâmetro geométrico médio das partículas (mm).

MF = Módulo de finura.

IU = Índice de uniformidade, é expresso por 3 números inteiros, cuja soma é igual a 10:

- G (Grosso) refere-se ao percentual do produto retido nas peneiras de *mesh* ≤ 16 ;
- M (Médio) refere-se ao percentual do produto que passou na peneira 16 *mesh* e que ficou retido nas peneiras entre 24 e 60 *mesh*;
- F (fino) refere-se ao percentual de produto que passou pela peneira 60 *mesh* e ficou retido entre a peneira 100 *mesh* e o fundo.

4.3.2 Cor instrumental

Colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA), previamente calibrado em superfície de porcelana branca, foi utilizado para fazer as leituras em 10 replicatas por amostra, dos parâmetros: luminosidade, que varia do preto (0) ao branco (100); e coordenadas de cromaticidade a^* (-80 até zero = verde, e zero ao +100 = vermelho) e b^* (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo), segundo método descrito por Paucar-Menacho *et al.* (2008).

A partir dos parâmetros a^* e b^* foram calculados a cromaticidade – C^* (saturação da cor) e o ângulo Hue – H° (tonalidade ou matriz) (equações 5 e 6, respectivamente).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (\text{Equação 5})$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Equação 6})$$

4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras foram colocadas em suporte de alumínio (*stubs*), cobertas com película de ouro e observadas em microscópio eletrônico de varredura (Jeol, JSM –6610, São Paulo, Brasil). As micrografias de superfície foram obtidas com aumentos da ordem de 1500 e 5000 vezes, sendo realizada duplicata de cada ampliação.

4.3.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Os espectros foram detectados em espectrofotômetro IV (Perkin Elmer, Sspectrum 400, Waltham, EUA), com condições de operação na região de 400 a 4000 cm^{-1} . Aproximadamente 1 mg de amostra foi misturada com 100 mg de brometo de potássio (KBr) e comprimida sob alta pressão em pastilhador específico para a obtenção de uma pastilha translúcida, e posteriormente foi realizada leitura única de cada amostra (Ye *et al.*, 2017).

4.3.5 Características físico-químicas e valor energético total (VET)

Todas as análises foram realizadas conforme as recomendações da AOAC (2016). A atividade de água (A_w) foi determinada em um Aqualab digital (Decagon Devices Inc., CX-2T, Pullman, USA), segundo método 978.18-1978; a ATT após a amostra ser diluída (10 g em 100 mL de água destilada) e titulada com NaOH 0,1 N, usando fenolftaleína como indicador, até que a solução apresentasse coloração rósea persistente (método 950.15-1950), a umidade em estufa a 105 °C até peso constante (método 925.09-1925); as cinzas por pesagem após incineração a 550 °C em forno mufla (método 923.03-1923); o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 5,65 resultou no teor de proteína bruta (método 920.87-1920); os lipídeos por extração com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet (método

920.39-1920); o teor de fibra alimentar total pelo método enzimático-gravimétrico (método 985.29-1985); e carboidratos digeríveis por diferença. O VET foi estimado (Equação 7) de acordo com a FAO (2003). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

$$\text{VET} = (\text{Proteína} \times 4) + (\text{Carb. digeríveis} \times 4) + (\text{Ex. etéreo} \times 9) + (\text{Fibra alim. total} \times 2)$$

(Equação 7)

4.3.6 Absorção de água, absorção de óleo e solubilidade em água

O índice de solubilidade em água (ISA) e o índice de absorção de água (IAA) foram determinados segundo Anderson, Conway e Peplinski (1970), com adaptações. Amostras de 2,5 g foram pesadas em tubos de centrifuga e adicionados de 30 mL de água destilada. Em seguida, os tubos foram agitados em banho-maria (Tecnal, TE-0532, Piracicaba-SP, Brasil) por 30 min em temperatura de 30 °C, e centrifugado a 3000 rpm, por 20 min em centrífuga (Daiki, DT – 4500, República Popular, China). O sobrenadante foi retirado cuidadosamente com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL em cadinhos de porcelana tarados e levados para estufa a 105 °C por 8 h, permanecendo apenas o precipitado no tubo. O IAA foi calculado utilizando-se a equação 8, e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca. O ISA foi determinado pela relação entre a massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra, conforme equação 9. Para a determinação do índice de absorção de água, a água foi substituída pelo óleo de girassol. Após a centrifugação, o líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos durante 1 min. O IAO foi determinado com auxílio da equação 10. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

$$\text{IAA} = \frac{\text{MRC}}{\text{MA} - \text{MRE}} \quad (\text{Equação 8})$$

$$\text{ISA} = \frac{\text{MRE}}{\text{MA}} * 100 \quad (\text{Equação 9})$$

$$\text{IAO} = \frac{\text{MRC}}{\text{MA}} \quad (\text{Equação 10})$$

Nas quais: IAA = índice de absorção de água [g de gel (g de matéria seca)⁻¹]; MRC = massa do resíduo da centrifugação (g); MA = massa da amostra (g) (base seca); MRE = massa

do resíduo da evaporação (g); ISA = índice de solubilidade em água [g (100 g)^{-1}]; IAO = índice de absorção de óleo [$\text{g precipitado (g de matéria seca)}^{-1}$].

4.3.7 Propriedades térmicas

A análise foi realizada em um calorímetro diferencial de varredura (TA *Instruments*, Q20, *New Castle*, UK), e com auxílio do aplicativo TA *Universal Analysis* (TA *Instruments*, *New Castle*, UK), segundo metodologia proposta por Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009).

As temperaturas de início, pico, final e a entalpia da gelatinização do amido foram avaliadas. Amostra de 2 mg (b.s.) foi pesada no porta-amostra de alumínio, próprio para o equipamento. Água destilada (6 μL) foi adicionada, e o porta-amostra selado hermeticamente em prensa específica. Em seguida, o mesmo foi mantido por 12 h a temperatura ambiente, para homogeneização da umidade na amostra, e em seguida aquecido de 40 a 150 °C. Um porta-amostra de alumínio vazio, selado hermeticamente, foi utilizado como referência. As análises foram realizadas em duplicata.

4.3.8 Propriedades de pasta

A temperatura de pasta, viscosidade inicial, viscosidade máxima, viscosidade de quebra ou *breakdown*, viscosidade final, e tendência a retrogradação ou *setback*, foram obtidas em equipamento Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia). À amostra foi adicionada água para corrigir a umidade para 14 g 100 g⁻¹, depois a amostra (2,5 g) foi diluída em 25 mL de água destilada. A suspensão formada foi mantida a 50 °C por 1 min, aquecida a 95 °C sob velocidade constante de 6 °C min⁻¹, mantida nessa temperatura por 5 min e resfriada até 50 °C sob a mesma velocidade. As análises foram realizadas em triplicata.

4.4 Formulação e processamento dos pães de arepa

O pão de arepa padrão (PAP) foi formulado com farinha de milho para arepa comercial, conforme receita típica da culinária venezuelana, seguindo a metodologia e formulação proposta por Gómez e Ramírez (2020), com adaptações. Os demais pães de arepa experimentais não utilizaram a farinha de milho para arepa comercial (FMC), em seu lugar utilizaram-se as

misturas constituídas por diferentes níveis de substituição do resíduo “finos”, recuperado após a etapa de laminação do processamento da farinha de milho flocada ou “flocão de milho”, por FFEx, nas proporções de 0 % (pão de arepa controle - PAC), 10% (PA10), 20% (PA20), 30% (PA30) e 40% (PA40) (Tabela 2). Essas proporções utilizadas foram definidas após ensaios preliminares com variações de 0 até 50% de substituição do resíduo finos pela farinha modificada por extrusão em que a proporção de 50% foi desconsiderada por ter provocado um efeito de massa pegajosa dificultando a moldabilidade do pão de arepa.

Tabela 2. Formulações dos pães de arepa formulados com misturas de diferentes níveis da substituição do resíduo “finos”, recuperado na etapa após a laminação do processamento da farinha de milho flocada ou “flocão de milho”, por farinha do resíduo extrusada (FFEx), e com farinha de milho pré-cozida para arepa comercial (FMC)

Ingrediente	PAC	PA10	PA20	PA30	PA40	PAP
Resíduo ¹	100	90	80	70	60	-
FFEx ¹	-	10	20	30	40	-
FMC ¹	-	-	-	-	-	100
Leite integral ²	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	80,0
Queijo muçarela ¹	58	58	58	58	58	58
Manteiga com sal (g)	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Sal (g)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

¹ g; ² mL; PAC: pão de arepa controle; PA10: pão de arepa com 10 % de substituição do resíduo “finos” por FFEx; PA20: pão de arepa com 20 % de substituição; PA30: pão de arepa com 30 % de substituição; PA40: pão de arepa com 40 % de substituição; PAP: pão de arepa padrão com farinha de milho pré-cozida comercial (FMC).

A FMC ou as misturas experimentais de farinhas foram misturadas manualmente com sal comum (NaCl), depois foi adicionado separadamente o leite morno aos poucos, o queijo muçarela ralado e a manteiga derretida, e amassou-se bem até atingir a consistência da massa de arepa. Foi feita quantidade suficiente de massa para obter uma arepa com cerca de 10 ± 2 g. Um disco com cerca de $3,5 \pm 2,0$ cm de diâmetro e 0,1 cm de espessura. Em seguida, a massa foi modelada em formato de bolinhas, e achatadas para a forma de disco com as mãos. Então, os discos foram grelhados em uma chapa grill elétrica (Faet Dulka Grill, GR-101, Rio de Janeiro – RJ, Brasil) previamente untada com manteiga, durante 4 min de cada lado, em temperatura média de 150 °C. Por fim, os pães de arepa foram resfriados, acondicionados em embalagens de PEBD, e armazenados sob refrigeração até o momento das análises, que foram realizadas em triplicata (composição proximal), e em 10 replicatas (índice de expansão, perfil textural e cor instrumental).

4.5 Atividade de água, expansão, cor e perfil textural dos pães de arepa

4.5.1 Atividade de água

A atividade de água (A_w) foi determinada em um equipamento Aqualab digital (BrasEq, CX-2T, Jarinu - SP, Brasil), sendo que uma quantidade de cinco gramas de cada amostra de pão fresco foi colocada em um prato de amostra e inserida na câmara de medição do instrumento em temperatura ambiente. A leitura da atividade de água foi realizada justamente quando a temperatura da amostra se tornou igual à temperatura do sensor de medição.

4.5.2 Cor instrumental

Os parâmetros instrumentais de cor foram determinados conforme o item 4.3.2.

4.5.3 Índice de Expansão

O diâmetro (mm) e altura (mm) das massas modeladas de pão de arepa foram aferidas em triplicata antes e depois de assadas, com auxílio de um paquímetro digital (Messen, 0 a 150 mm, Berlim, Alemanha), e o índice de expansão foi calculado conforme a equação 12.

$$IE = \frac{(\text{diâmetro unidade assada} + \text{altura unidade assada})}{(\text{diâmetro massa moldada} + \text{altura massa moldada})} \quad (\text{Equação 12})$$

4.5.4 Perfil de textura

Os parâmetros texturais (dureza, elasticidade, coesividade, mastigabilidade e resiliência) foram determinados segundo método descrito por Horndok e Noomhorm (2007). Texturômetro (TA-XTplus, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) com carga de 10 kg foi utilizado e ajustado com os seguintes parâmetros: probe cilíndrico de 6 mm de diâmetro; Velocidade pré-teste 2 mm s⁻¹, velocidade teste 2 mm s⁻¹, velocidade pós-teste 10 mm s⁻¹. A amostra foi comprimida em 50% do seu tamanho original, em dois ciclos, mantendo a compressão em distância de 5,0 mm por 5 s, e retornando à posição inicial. Dez leituras (repetições) por formulação foram realizadas.

4.6 Risco microbiológico das farinhas experimentais e do produto final

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Controle Higiênico Sanitário da Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Goiás, seguindo a metodologia estabelecida pela Associação de Saúde Pública Americana (APHA, 2015). *Salmonella* em 25 g, e *Bacillus cereus* presuntivo, *Escherichia coli* e bolores e leveduras, todos em 1 g, foram determinados. Os resultados obtidos foram comparados com o valor estabelecido pela Instrução Normativa - IN nº 161, de 1º de julho de 2022 (categorias 19 a e 19 d), que estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos para farinhas e pães, respectivamente (Brasil, 2022a).

4.7 Aceitação sensorial e intenção de compra dos pães de arepa

A aceitação sensorial foi investigada nos pães de arepa PAP, PA20, PA30 e PA40 utilizando ficha sensorial com escala hedônica estruturada de nove pontos (9 gostei muitíssimo, 5 nem gostei, nem desgostei e 1 desgostei muitíssimo), conforme (Stone; Sidel, 1985). O teste foi realizado com 100 provadores não treinados, sendo estes, acadêmicos, professores e funcionários da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos - UFG, com faixa etária de 18 a 60 anos de idade, exceto os alérgicos aos ingredientes da formulação (alérgicos: pode conter soja); (alérgicos: contém leite e derivados), gestantes, idosos e portadores de patologias relacionadas ao consumo do alimento. Também foi aplicado o teste de intenção de compra, sendo então analisado por meio de escala hedônica estruturada de 5 pontos (1 = certamente não compraria, 5 = certamente compraria) (Minim, 2013).

A análise foi realizada no laboratório de análise sensorial de alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG, no mês de julho de 2024. Cada provador recebeu quatro amostras de pães à temperatura ambiente e uma ficha de avaliação (Apêndice A), com uma porção de aproximadamente 5 g de cada amostra, em copos plásticos brancos codificados com números de três dígitos, de forma casual e balanceada, acompanhados de um pedaço de bolacha de sal e um copo de água para a limpeza do palato. Foram servidas, em cabines individuais, em pratos descartáveis de cor branca, em ordem balanceada de apresentação, sob iluminação branca. A avaliação consistiu na apresentação simultânea das amostras codificadas, pretendendo-se que o provador determinasse a aceitação sobre o produto (IAL, 2008), por meio da avaliação dos atributos, como demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Códigos das amostras durante análise sensorial e atributos analisados

Pães de Arepa	PAP Formulação Comercial Padrão	PA20 20% FFE _x	PA30 30% FFE _x	PA40 40% FFE _x
Códigos	130	210	560	720
Atributos	Aparência, aroma, sabor, cor, textura e aceitação global			

O índice de aceitação das amostras foi calculado pela seguinte expressão matemática (Equação 11) conforme descrito por (Finger *et al.*, 2010), utilizando o quesito da impressão global do produto.

$$IA \% = X * 100 / N \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde: IA = Índice de aceitação global; X = média da aceitação global; N = nota máxima para aceitação global, de cada amostra, dada pelos julgadores. O IA com boa repercussão é aquele com valor $\geq 70\%$.

Para a participação da análise sensorial foi necessário a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Para esta etapa, o presente estudo foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa da UFG e aprovado através do parecer CAAE: 6.764.100

4.8 Composição proximal e valor energético total do pão de arepa selecionado

A composição proximal e o valor energético total foram determinados de acordo com os métodos elencados no item 4.3.5.

4.9 Análise estatística

Delineamentos inteiramente casualizados foram utilizados: 1) Para estudar as características das farinhas de milho modificadas, com 3 tratamentos (FFE_x, FFE_s e FFA) e 3 repetições originais; 2) Para comparar as características tecnológicas dos pães de arepa, com 6 tratamentos, com 0, 10, 20, 30 e 40% de substituição do resíduo finos por FFE_x e 100% de substituição do resíduo por farinha de milho para arepa comercial (FMC), com 3 repetições

originais; 3) Para avaliar a aceitação sensorial e a intenção de compra dos pães de arepa, com 4 tratamentos, com 20, 30 e 40% de substituição do resíduo finos por FFEx e 100% de substituição do resíduo por farinha de milho para arepa comercial (FMC), com 100 provadores (repetições) Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do software Statistica (Statsoft Inc., Statistica 14.0, Tulsa, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Granulometria

O tamanho das partículas ou granulometria é uma das propriedades físicas mais importantes para os produtos moídos, pois além de afetar seu escoamento, esta negativamente relacionada à coesividade, influenciando o processo tecnológico e as características do produto final (Amorim *et al.*, 2016). O resíduo apresentou mais de 70% e a farinha de milho para arepa comercial (FMC) apresentou mais de 90% das partículas retidas na peneira com orifícios de 0,180 mm (80 *mesh*). A mesma magnitude de retenção de partículas do resíduo foi atingida na peneira com 0,150 mm de abertura (100 *mesh*) para a FFEs, enquanto para FFA e FFEx tal montante apenas foi atingido na peneira com 0,075 mm de abertura (200 *mesh*), o que indica diferentes perfis granulométricos (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição percentual das partículas nas peneiras com diferentes aberturas (mm), módulo de finura, diâmetro geométrico médio das partículas (DGM), índice de uniformidade (IU) do resíduo do processamento da farinha de milho flocada (finos), da farinha de milho para arepa comercial (FMC) e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA)

Abertura (mm)	Resíduo	FMC	FFEx	FFE	FFA
0,600	1,13 ± 0,12	1,69 ± 0,21	0,04 ± 0,01	0,32 ± 0,00	0,02 ± 0,01
0,180	70,98 ± 2,04	97,01 ± 0,46	30,35 ± 2,21	33,68 ± 2,63	8,70 ± 0,78
0,150	13,22 ± 3,53	1,54 ± 0,19	19,04 ± 0,16	33,54 ± 0,85	17,47 ± 4,79
0,125	13,90 ± 1,15	0,00 ± 0,01	19,20 ± 0,36	27,92 ± 0,83	23,92 ± 3,12
0,075	1,95 ± 0,27	0,00 ± 0,02	23,23 ± 2,92	2,03 ± 0,91	40,67 ± 4,18
Fundo	0,34 ± 0,15	0,00 ± 0,02	6,00 ± 0,16	0,03 ± 0,02	9,03 ± 0,38
MF	3,58 ± 0,14	4,00 ± 0,00	2,42 ± 0,06 ^a	2,97 ± 0,08 ^a	1,75 ± 0,07 ^b
DGM¹	1247,51 ± 28,06	1671,14 ± 4,99	556,89 ± 21,65 ^b	816,11 ± 42,90 ^a	351,73 ± 18,06 ^c
IU	(7, 2, 1)	(10, 0, 0)	(3, 4, 3)	(4, 6, 0)	(1, 4, 5)

Média de três repetições ± desvio padrão. MF (Módulo de Finura); DGM (Desvio Geométrico Médio) e IU (Índice de Uniformidade). Diferentes letras minúsculas na mesma linha mostram diferenças estatísticas entre os tratamentos de modificação ($p < 0,05$). ¹µm.

A farinha de milho para arepa comercial (FMC), assim como o resíduo do processamento da farinha de milho flocada (finos) e a FFEs apresentaram os maiores valores de módulo de finura (MF), seguidos pela FFEx e FFA (Tabela 3), sendo que os valores de MF de FFEx e FFEs não diferiram estatisticamente entre si, apenas do valor de FFA. Segundo Zanotto e Bellaver (1996), o MF é um índice que se correlaciona positivamente com o aumento do tamanho das partículas, variando de zero a seis.

Nunes *et al.* (2001) classificaram os alimentos pulverulentos como grossos aqueles que apresentam diâmetro geométrico médio (DGM) acima de 832,7 µm, médios com DGM entre 375,3 e 832,7 µm, e finos com DGM menor que 375,7 µm. FFEx, FFEs e FFA apresentaram DGM de 556,89; 816,11 e 351,73 µm (Tabela 3). E podem ser classificadas, de acordo com estes autores, como média, média-grossa e fina, respectivamente, enquanto o resíduo (1247,51 µm) e a FMC (1671,14 µm) como grossos. Portanto, todas as farinhas de finos diferiram estatisticamente entre si quanto aos valores de DGM, sendo que a FFEs foi a que mais se

assemelhou ao resíduo, podendo-se a princípio inferir como a que menos sofreu modificações no padrão do tamanho das partículas durante o processo térmico aplicado.

O índice de uniformidade (IU), indicou a proporção relativa entre partículas grossas ($\geq 0,180$ mm), médias (entre 0,180 e 0,125 mm) e finas ($< 0,125$ mm) (Tabela 3).

O resíduo foi mais uniforme em relação a distribuição do tamanho das partículas, concentrando aproximadamente 70% no espectro grosso; seguido pela FFEs, com 60% das partículas no espectro médio, e pela FFA, com 50% das partículas finas. A farinha modificada menos uniforme em relação ao tamanho das partículas foi a FFEx, com quase a mesma proporção de tamanhos de partícula em todos os espectros determinados (Tabela 3).

Em relação a farinha de milho para arepa comercial (FMC), a mesma apresentou praticamente 100% das partículas no espectro grosso (Tabela 3), sendo mais semelhante a granulometria do resíduo “finos” sem modificação. Embora uma granulometria fina seja desejável em farinhas, uma granulometria excessivamente fina não é garantia de qualidade. Pois, altos teores dessas partículas nas misturas podem comprometer a estrutura interna e a textura de produtos de panificação (Silva *et al.*, 2009).

5.2 Cor instrumental

Todas as farinhas diferiram ($p \leq 0,05$) em relação a luminosidade (L^*). A FFEx apresentou o menor valor de luminosidade (L^*), portanto a cor mais escura, enquanto FFEs obteve o maior valor de L^* , com a cor mais clara (Figura 10, Tabela 4).

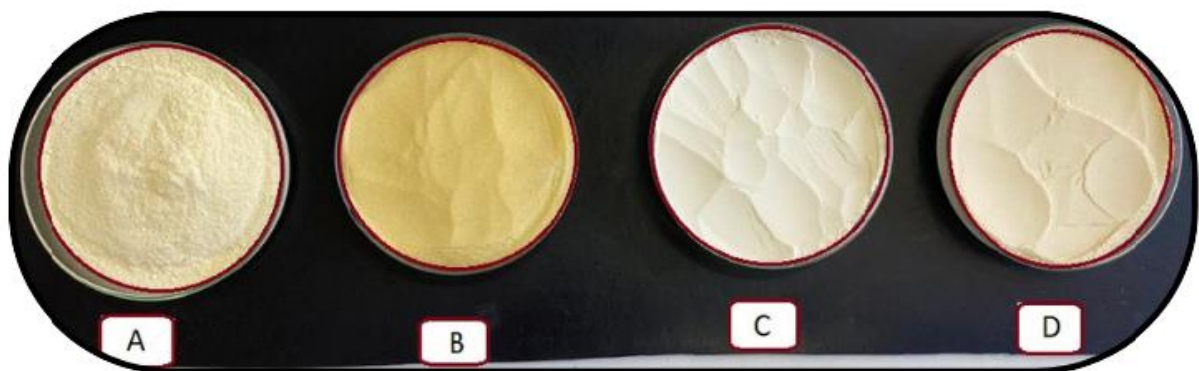


Figura 10. Fotografias do resíduo “finos” obtido no processamento da farinha de milho flocada (A); farinha de finos extrusada - FFEx (B); farinha de finos modificada por HTM em estufa – FFEs (C) e farinha de finos modificada por HTM em autoclave – FFA (D). Fonte: Próprio autor (2024)

Tabela 4. Parâmetros instrumentais de cor do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE_s) e autoclave (FFA)

Parâmetro ¹	Resíduo	FFEx	FFE _s	FFA
Luminosidade	92,07 ± 0,08	85,92 ± 0,41 ^c	95,21 ± 0,09 ^a	88,50 ± 0,20 ^b
Croma a*	2,93 ± 0,12	3,35 ± 0,18 ^a	0,63 ± 0,07 ^b	3,18 ± 0,06 ^a
Croma b*	27,73 ± 0,21	32,59 ± 0,63 ^a	14,91 ± 0,17 ^c	18,72 ± 0,52 ^b
Cromaticidade	27,88 ± 0,21	32,76 ± 0,65 ^a	14,92 ± 0,17 ^c	18,99 ± 0,51 ^b
Ângulo Hue ²	83,98 ± 0,23	84,14 ± 0,23 ^a	87,70 ± 0,26 ^a	80,34 ± 0,36 ^a

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ²grau (°).

A menor luminosidade da FFEx pode ter sido devido a uma combinação de calor, pressão e cisalhamento durante o processo de modificação por extrusão, que influenciou de forma mais severa algumas reações de escurecimento não enzimático, em relação a outros métodos de aquecimento (Marta *et al.*, 2022a). Uma reação de condensação entre o grupo carbonila de um açúcar redutor e um grupo amina livre de um aminoácido, peptídeo ou proteína quando exposto a altas temperaturas, como durante a extrusão, seguida por uma série de reações químicas complexas resultam na formação de compostos de cor e sabor (Schutte; Hayward; Manley, 2024).

A L* do resíduo “finos” foi maior (mais claro) apenas em relação a FFE_s, pois provavelmente a umidade do resíduo na estufa foi reduzida, clareando a amostra, e ainda pelo fato de não ocorrer reações de escurecimento, como a reação de Maillard, onde ocorre a formação de pigmentos escurecidos, como as melanoidinas que se originam no estágio avançado da reação de Maillard, após processamento térmico (Shaheen *et al.*, 2021).

Os valores de L* dos produtos avaliados neste estudo foram maiores (mais claros) que os determinados por Sánchez-Madrugal *et al.* (2015), que analisaram a cor de farinhas de milho normal enriquecidas com β -glucanas, e reportaram luminosidade variável entre 82,54 a 84,80. Grãos mais claros, característicos de materiais transgênicos, foram utilizados na produção do flocão de milho e resultaram na obtenção de um resíduo e consequentemente farinhas modificadas também claras.

A coordenada de cromaticidade a* da FFEx não diferiu significativamente da FFA, mas estes valores foram maiores que o determinado para FFE_s. Provavelmente, devido ao maior

tempo de exposição na estufa e menor temperatura utilizada, o que ocasionou maior perda de água (sistema aberto) que os demais tratamentos, o que pode ter facilitado a penetração do oxigênio na estrutura do alimento, ocasionando uma ligeira oxidação dos carotenoides avermelhados. Segundo Rocha-Villarreal *et al.* (2018) a diminuição no conteúdo total de carotenoides em amostras vaporizadas em estufa e em autoclave pode ser provavelmente resultado da oxidação ou destruição de carotenoides durante o aquecimento térmico-úmido em estufa e o cozimento a vapor em autoclave causados pelo tratamento hidrotérmico.

Os valores médios de b^* e C^* diferiram entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), e foram maiores na FFEx, seguidos de FFA e FFEs. O que significa na prática que FFEx apresentou uma cor com maior participação do componente amarela ($+++b^*$) que a componente vermelho ($+a^*$), o que contribuiu com maior saturação da cor. Provavelmente, devido ao menor tempo do tratamento térmico dentro do extrusor, o que poderia ter contribuído com uma maior preservação dos carotenoides do espectro amarelo, como as xantofilas, que o tratamento na estufa de circulação de ar. Segundo Wang *et al.* (2022), a perda de carotenoides no processo de extrusão termoplástica é reduzida porque a enzima lipoxigenase é provavelmente inibida, especialmente durante a entrada de energia, além disso, os produtos primários da reação de Maillard podem retardar a oxidação dos carotenoides. Resultados similares foram relatados por Piroski *et al.* (2021), que estudaram a digestibilidade *in vitro* do amido de farinhas de mandioca e milho prontas para consumo, e obtiveram para os parâmetros instrumentais de cor da farinha de milho valores croma a^* de 0,7 a 1,2 e croma b^* de 15,1 a 15,5.

Quanto a tonalidade (H°), as amostras não diferiram ao nível de 5 % de probabilidade, apresentaram valores entre 80,34 a 87,70, indicando uma tonalidade alaranjada próxima da cor amarela pura (90°) (Figura 8). Entretanto, a FFEx devido a maior coordenada b^* e maior saturação em relação as demais farinhas modificadas é mais recomendada para utilização como ingrediente, devido a sua maior capacidade de contribuir com a produção de alimentos amarelos, o que é uma vantagem para a indústria de panificação.

A farinha de finos extrusada (FFEx) apresentou maior intensidade de cor amarela (b^*) e saturação (C^*) em comparação às farinhas modificadas por estufa e autoclave. Essas características tornam o FFEx uma opção atrativa para a formulação do pão de arepa, proporcionando uma coloração mais intensa e visualmente agradável, valorizada pelo consumidor. A extrusão termoplástica preservou melhor os carotenoides amarelos, reduzindo danos causados pela reação de Maillard. Esse fator contribui não apenas para a aparência do produto, mas também para a estabilidade oxidativa dos carotenoides, prolongando a qualidade visual e nutricional do pão durante o armazenamento. Além disso, a cor mais intensa e estável

do FFE_x pode diminuir a necessidade de corantes artificiais ou naturais, agregando valor ao produto devido à atividade antioxidante dos carotenoides.

5.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Os grânulos de amido de milho tendem a ter formato poliédrico e superfície lisa, (Almeida *et al.*, 2022). O resíduo apresentou grânulos arredondados ou poliédricos com superfície lisa (Figuras 9A e 9B). A modificação térmica alterou a superfície, mas manteve a integridade dos grânulos de amido das amostras modificadas, exceto na FFE_x (Figuras 9C e 9D). Nesta os grânulos foram fundidos com as demais moléculas, perdendo seu formato original, formando uma massa homogênea.

As mudanças nas superfícies do amido e integridade dos grânulos também podem ocorrer devido a gelatinização parcial dos grânulos de amido, facilitada pela adição de água e calor em forma de energia térmica ao sistema de amido, o que pode ser evidenciado principalmente na modificação do amido da farinha de finos tratada por extrusão. Descobertas semelhantes foram relatadas para modificações hidrotérmicas de milho por Adebowale, Afolabi e Olu-Owolabi (2005) e amido de fruta-pão por Marta *et al.* (2019).

As micrografias de FFEs e FFA revelaram que, o tratamento térmico, provocou alterações degradativas na superfície dos grânulos de amido e que estas modificações foram mais intensas em FFA (Figuras 11G e 11H) que em FFEs (Figuras 11E e 11F). O que pode ser explicado pelo aquecimento com baixo teor de umidade, que pode causar poros e fissuras na superfície do grânulo, devido à despolimerização de parte da amilose durante estes tratamentos térmicos (Zou *et al.*, 2020). Em comparação com as características morfológicas após tratamento térmico na FFEs e FFA, os grânulos de FFE_x foram destruídos e as extensões de agregação foram maiores. Enquanto isso, a aglomeração das amostras de FFEs foram mais evidentes do que nas amostras FFA.

A estrutura granular do amido foi parcialmente destruída durante o tratamento de extrusão, produzindo gelatinização e dextrinização do amido. Semelhantes observações foram relatadas por Yan *et al.* (2019) para amido de milho tratado com efeito combinado de extrusão e tratamento térmico-úmido.

FFEs apresentou uma fragmentação mais superficial e um grau de deformação menor, enquanto que a FFA apresentou uma maior degradação e deformações na superfície dos grânulos de amido que pareciam ser menos moldados, com rachaduras, cavidades ou grosseiros,

devido ao tratamento com alta pressão e temperatura aplicados na FFA. A formação de rachaduras e cavidades na superfície dos grânulos é uma consequência direta do estresse mecânico e térmico imposto durante o tratamento. Essas deformações podem ser atribuídas à gelatinização parcial do amido, que altera suas propriedades físicas e químicas (Wang; Wang, 2015).

Entretanto, FFEs, cujo tratamento térmico aliado a perda de umidade no sistema provocou uma pré-gelatinização muito pequena, a morfologia dos grânulos de amido permaneceram quase inalteradas, semelhante aos visualizados no resíduo oriundo do processo de fabricação do flocão de milho, que possui características de amido de milho nativo. As alterações morfológicas nos grânulos de amido destas duas farinhas modificadas ocorreram devido ao conteúdo de umidade limitado e a força térmica que foi aplicada ao amido durante o processo de modificação.

O HMT modifica as propriedades físico-químicas sem destruir a estrutura granular do amido. Também melhora as propriedades funcionais do amido nativo, além de reduzir a propriedade de inchaço dos grânulos de amido, o que contribui para uma variedade de aplicações nas indústrias alimentícias (Suri; Singh, 2023).

Os resultados de FT-IR (Figura 12) demonstraram mudanças químicas e estruturais nas farinhas modificadas, que foram visualmente confirmadas pelas imagens de MEV (Figura 11), evidenciando os efeitos dos tratamentos térmicos e mecânicos na estrutura do amido e proteínas.

As imagens obtidas por MEV mostraram que a estrutura granular do amido foi parcialmente destruída na farinha extrusada (FFEx), resultando na formação de uma massa homogênea. Já as farinhas tratadas termicamente em estufa (FFE) e autoclave (FFA) apresentaram grânulos mais preservados, porém com sinais de degradação superficial.

A redução da intensidade do pico em 3438 cm^{-1} no FT-IR das farinhas modificadas indicou alterações nos grupos hidroxila, refletindo maior capacidade de absorção de água (IAA), especialmente na FFEx. Isso foi confirmado no MEV, onde a FFEx apresentou maior solubilidade e fragmentação dos grânulos.

A farinha modificada por extrusão (FFEx) apresentou redução na intensidade das bandas em 1640 cm^{-1} e 1440 cm^{-1} , associadas à desnaturação de proteínas. Além disso, os espectros indicaram degradação da amilopectina devido à gelatinização e cisalhamento.

No FT-IR, bandas associadas a proteínas (1640 cm^{-1} - amida I e 1440 cm^{-1} - amida II) apresentaram redução de intensidade, indicando desnaturação proteica, principalmente na FFEx e FFEs. As imagens de MEV corroboraram isso ao mostrar maior agregação e fusão dos grânulos de amido e proteínas na FFEx.

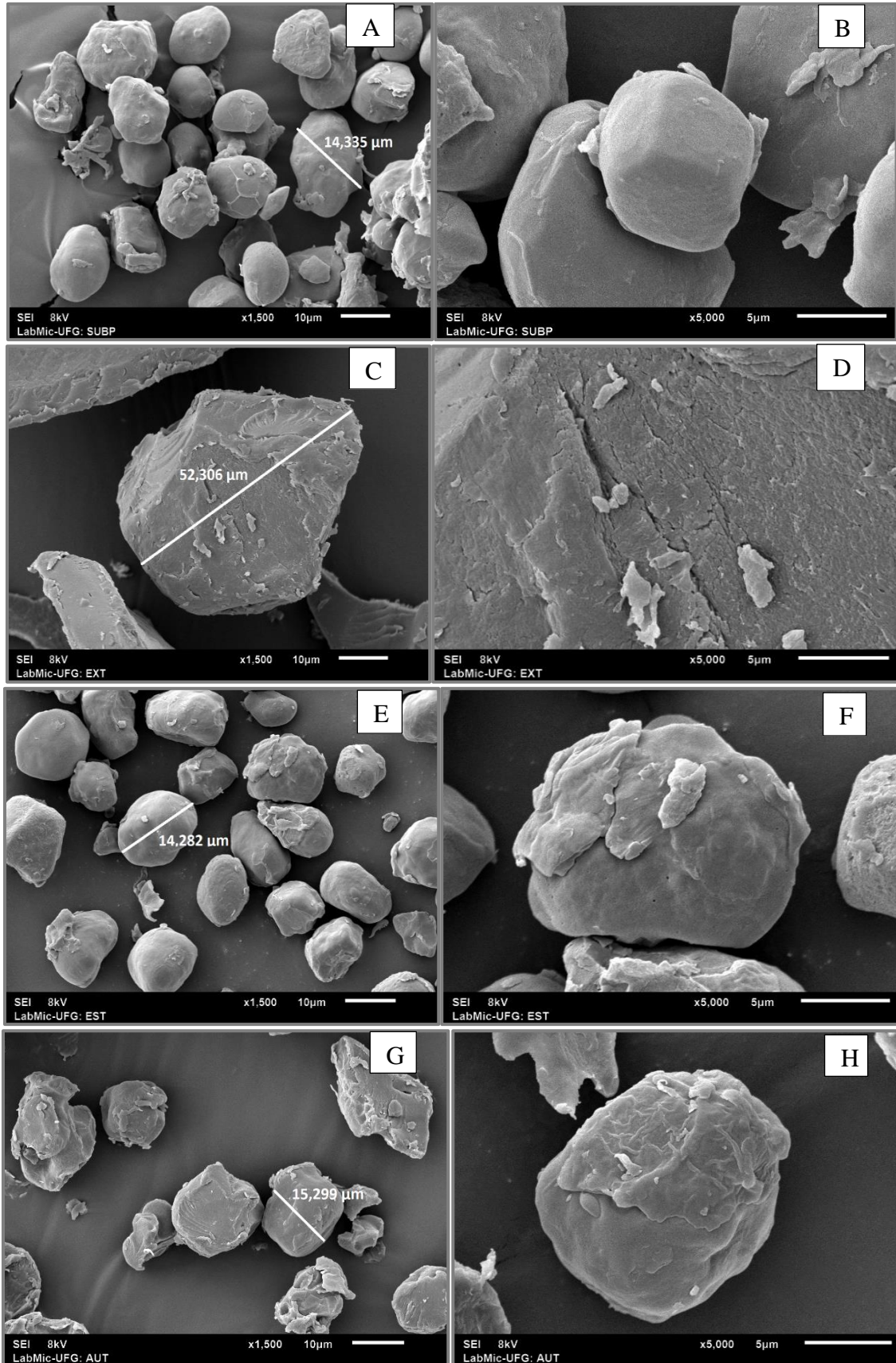


Figura 11. MEV do resíduo “finos” obtido na produção da farinha de milho flocada (A e B), e das de farinha de finos modificada por extrusão (FFEx) (C e D), em estufa: (FFE) (E e F); e em autoclave (FFA) (G e H), com ampliações de 1500x e 5000x, respectivamente.

5.4 Características físico-químicas e valor energético total das farinhas experimentais

A atividade de água (A_w) não diferiu ($p > 0,05$) entre as farinhas de finos modificadas por diferentes tratamentos térmicos, e foi inferior a 0,60 (Tabela 5), o que é limitante para a multiplicação microbiana.

Tabela 5. Atividade de água (A_w), acidez total, composição centesimal (base úmida) e valor energético total (VET) (média \pm desvio padrão) do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA)

Parâmetro*	Resíduo	FFEx	FFE	FFA
A_w ¹	0,44 \pm 0,01	0,39 \pm 0,02 ^a	0,35 \pm 0,03 ^a	0,30 \pm 0,03 ^a
Acidez total ²	3,58 \pm 0,22	3,63 \pm 0,28 ^b	3,63 \pm 0,19 ^b	5,60 \pm 0,41 ^a
Umidade ³	10,47 \pm 0,15	7,97 \pm 0,04 ^a	4,95 \pm 0,11 ^c	5,85 \pm 1,34 ^b
Cinzas ³	0,24 \pm 0,02	0,17 \pm 0,04 ^b	0,24 \pm 0,05 ^a	0,19 \pm 0,09 ^b
Lipídios ³	0,75 \pm 0,13	0,18 \pm 0,08 ^c	0,42 \pm 0,22 ^a	0,24 \pm 0,05 ^b
Proteína ³	3,68 \pm 0,16	3,22 \pm 0,59 ^b	3,41 \pm 1,21 ^b	4,64 \pm 0,12 ^a
Fibra total ³	3,83 \pm 0,81	2,67 \pm 1,09 ^c	3,11 \pm 0,69 ^b	10,20 \pm 2,07 ^a
Carboid. dig. ³	81,03 \pm 0,24	85,79 \pm 0,54 ^a	87,87 \pm 1,37 ^a	78,88 \pm 1,58 ^b
Valor Energ. ⁴	353,25 \pm 1,26	363,00 \pm 0,27 ^b	375,12 \pm 1,15 ^a	356,64 \pm 5,54 ^b

*Médias seguidas de diferentes letras na mesma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ¹ adimensional; ² %; ³ g 100 g⁻¹; ⁴ kcal 100 g⁻¹

Segundo Rifna, Dwived e Chauhan (2022), a matriz alimentar submetida a tratamentos térmicos ou alimentos com baixo teor de umidade não retém mais que 25 g 100 g⁻¹ de umidade (atividade de água inferior a 0,60) e a diminuição da atividade da água nos produtos alimentícios restringe o desenvolvimento de células vegetativas, a germinação de esporos, a geração de toxinas pelas células microbianas e a atividade enzimática. Quando a atividade de água é menor que 0,20, a oxidação lipídica é acelerada e quando a atividade de água é aumentada para 0,30, a oxidação é retardada. Na tabela, observa-se que a A_w dos "finos" é de 0,44, enquanto as farinhas modificadas apresentam valores significativamente menores, variando de 0,30 a 0,39. O resíduo inicial tem umidade maior (10,47%) e uma A_w de 0,44, indicando presença de água livre.

Após os tratamentos térmicos, a umidade caiu significativamente, mas a A_w também diminuiu. A redução da A_w nas farinhas modificadas (FFEx, FFEs e FFA) é benéfica, pois uma menor atividade de água está associada a uma menor atividade microbiana e, conseqüentemente, a uma maior durabilidade do produto (Bianchini *et al.*, 2014). Essa característica é especialmente relevante para a indústria alimentícia, onde a conservação de produtos é uma preocupação constante.

A determinação do pH e da acidez fornece indicadores da qualidade das farinhas, uma vez que valores mais baixos de pH ou maiores de acidez sinalizam uma maior conversão de ácidos graxos de cadeia longa em ácidos de cadeia curta. Esse processo pode favorecer a atividade de microrganismos benéficos, como leveduras e bactérias ácido-láticas, especialmente em processos de fermentação e panificação, contribuindo para o desenvolvimento do sabor, da textura e da conservação dos produtos finais (Amadeu *et al.*, 2021).

A acidez titulável total (ATT) variou entre 3,58 a 5,60 % (Tabela 5), e na FFA foi maior que nas demais ($p < 0,05$), que não diferiram entre si. O aumento da acidez na farinha obtida por autoclave (FFA) pode indicar uma maior fermentação ou a presença de compostos ácidos resultantes do processamento, o que pode afetar o sabor e a aceitação do produto final (Eyng *et al.*, 2012). A acidez também pode influenciar a solubilidade de proteínas e a digestibilidade, fatores importantes na formulação de produtos alimentícios.

A amostra submetida ao tratamento em autoclave apresentou maior acidez total, indicando que o processo térmico-úmido sob alta pressão favorece reações de hidrólise que liberam ácidos no meio, elevando a acidez. Entre essas reações, destaca-se a hidrólise de lipídios e proteínas, resultando na formação de ácidos graxos livres e aminoácidos. As proteínas, constituídas por aminoácidos com grupamentos amina (NH_2), sofrem desaminação sob condições de alta pressão e temperatura, liberando amônia (NH_3) e deixando compostos ácidos, como os ácidos orgânicos, o que contribui para o aumento da acidez total do sistema (Zou; Dong; Zhao, 2020; Wang; Copeland; Wang, 2020; Abbasi; Azizpour, 2016).

Não existem legislações conhecidas que descrevam parâmetros de qualidade específicos para os potenciais ingredientes produzidos por este estudo. No entanto, a resolução CNNPA N° 12 de 1978, estabelece alguns padrões para cereais e derivados (farinha de milho ou fubá), onde o produto que mais se assemelha às farinhas de finos modificadas por tratamentos térmicos é o flocos de milho pré-cozido ou o mesmo na forma de farinha (Brasil, 1978). Esta resolução estabelece acidez máxima de 5% para a farinha de milho ou fubá. No presente trabalho, valores

inferiores foram obtidos exceto para FFA, que apresentou valor ligeiramente superior (Tabela 5).

Em relação a composição proximal, as amostras de farinhas modificadas apresentaram variações significativas entre todos os componentes ($p \leq 0,05$). A FFEx apresentou teores menores de todos os componentes, com exceção do teor de umidade e carboidratos digeríveis e do valor energético total. A umidade, por exemplo, é significativamente menor nas farinhas modificadas, especialmente na FFEs (4,95%), o que é desejável para a conservação do produto. O tratamento térmico-úmido sob alta pressão intensifica a desnaturação das proteínas, aumentando a retenção de água em cadeias expostas, o que explica a menor redução de umidade em alguns tratamentos. A diminuição da umidade pode contribuir para a estabilidade e a durabilidade das farinhas (Alcântara *et al.*, 2012).

Os processos de extrusão, autoclave e estufa promovem modificações químicas, como a gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas, aumentando a capacidade de retenção de água. A água incorporada à estrutura molecular dos polímeros torna-se menos disponível para evaporação durante a secagem a 105 °C, já que a análise em estufa detecta apenas a água livre e fracamente ligada. A desnaturação das proteínas cria novas ligações de hidrogênio entre os grupos -OH, -NH₂ e C=O das proteínas e as moléculas de água, dificultando sua volatilização. Além disso, grupos polares das cadeias laterais de aminoácidos, como serina, treonina e ácido glutâmico, reforçam essa retenção (Roos, 2010).

Durante a extrusão, a gelatinização parcial do amido expõe suas cadeias, permitindo interações hidrofílicas com os grupos hidroxila (-OH) da amilose e da amilopectina. A estrutura gelatinizada do amido incha e aprisiona água em seus poros, dificultando sua evaporação, esse mesmo fenômeno foi observado no estudo de Sarifudin e Assiry (2014) que avaliaram o efeito do aumento da temperatura e da velocidade do parafuso no processo de dextrinização da farinha de milho.

Contreras-Jiménez *et al.* (2014) avaliaram farinhas de milho obtidas por extrusão com temperaturas de 70, 75 e 80 °C, diferentes conteúdos de água e tamanhos de partículas, e obtiveram umidades entre 6,34 a 6,77 g 100 g⁻¹, inferiores as determinadas na FFEx (Tabela 5). O controle da umidade é particularmente importante, já que farinhas com umidade inferior a 12 g 100 g⁻¹ não permitem a multiplicação microbiana (Lopes; Franco, 2006). A legislação brasileira vigente, RDC n° 711, de 1° de julho de 2022, preconiza o limite máximo de umidade de 15 g 100 g⁻¹ para amidos de cereais, farelos e farinhas (Brasil, 2022 b). Portanto, todas as farinhas FFEx, FFEs e FFA apresentaram umidade inferior a estes limites, podendo ser comercializadas em relação a este requisito.

As farinhas FFE_x e FFEs apresentaram valores maiores e FFA apresentou menor valor de carboidratos digeríveis, em comparação com o resíduo finos, houve um aumento de cerca de 6% para FFE_x, 8% para FFEs e diminuição de aproximadamente 3% para FFA Segundo Carvalho e Nakagawa (2000) os carboidratos são os componentes que se encontram em maior quantidade nos cereais, estes perfazem aproximadamente 83% da composição das sementes de milho. Conforme esperado, em todas as farinhas analisadas neste estudo, o carboidrato aparece em maior quantidade, destacando-se FFEs e FFE_x, que diferiram significativamente da farinha de milho modificada em autoclave (FFA).

Giacomelli *et al.* (2012) avaliaram a composição nutricional de farinha de milho pré-cozida adquiridas no comércio local de Rio Grande do Sul, e reportaram que 100 g de farinha de milho apresentou 9,78 g ± 0,03 g de umidade, 6,50 g ± 0,01 g de proteína, 1,38 g ± 0,07 g de lipídios, 1,28 g ± 0,4 g de fibras, 0,21 g ± 0,04 g de cinzas, e 80,82 g ± 0,31 g de carboidratos digeríveis. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados neste estudo, exceto para as proteínas e lipídios cujos valores foram superiores e fibras cujos valores foram inferiores aos encontrados neste estudo (Tabela 5). A composição química dos grãos varia em função de suas características genéticas, manejo cultural e condições edafoclimáticas (Siddiqi *et al.*, 2020).

Berwig *et al.* (2021) avaliaram a qualidade das farinhas mistas de sorgo e grits de milho (1:1) submetidas a extrusão, e reportaram umidade de 8,18 g 100 g⁻¹ ± 0,24, fibras de 1,82 g 100 g⁻¹ ± 0,07, e proteínas de 8,10 g 100 g⁻¹ ± 0,14, valores próximos aos teores encontrados nesse trabalho para FFE_x, exceto para proteínas, superior ao determinado neste trabalho (3,22 ± 0,59) (Tabela 5).

Os teores de lipídios e proteínas também variam entre os diferentes tipos de farinha. A farinha obtida por autoclave (FFA) apresenta o maior teor de proteínas (4,64 g 100 g⁻¹), o que pode ser vantajoso em aplicações que buscam aumentar o valor nutricional dos produtos finais (Andrade *et al.*, 2018). Em contrapartida, a farinha FFE_x apresenta o menor teor de lipídios (0,18 g 100 g⁻¹), o que pode ser relevante para consumidores que buscam produtos com menor teor de gordura.

O tratamento térmico e de pressão em autoclave promove a desnaturação das proteínas, rompendo ligações químicas e expondo grupos amina (-NH₂), o que aumenta a concentração de nitrogênio quantificado pelo método Kjeldahl. Esse efeito é evidenciado no espectro infravermelho pelo aumento das bandas Amida I (1640 cm⁻¹) e Amida II (1444 cm⁻¹) (Figura 12).

Os resultados encontrados para lipídios (1,1 g 100 g⁻¹), fibras totais (2,5 g 100 g⁻¹), carboidratos (80,2 g 100 g⁻¹) e energia (354 kcal g⁻¹) obtidos da análise proximal de farinha de

milho pré-cozida não enriquecida do estudo de Gwritz e Garcia-Casal (2014) foram semelhantes aos valores obtidos para FFE_x, exceto para os teores de lipídios ($0,18 \pm 0,08$), o menor valor em relação aos outros tratamentos.

A extrusão leva a uma diminuição nos lipídios extraíveis nos produtos extrusados. Em estudos envolvendo trigo e milho, foi relatado que apenas 40 a 55% da gordura extraível nas matérias-primas poderia ser extraída usando éter etílico após extrusão. Esta redução pode ser atribuída a complexação de monoglicerídeos e ácidos graxos livres com amilose e proteína, tornando-os difíceis de extrair usando solventes orgânicos (Kamau; Nkhata; Ayua, 2020).

Durante a fabricação da farinha de milho pré-cozida, ocorre o processo de degerminação, etapa que representa a retirada do gérmen e do pericarpo dos grãos de milho justificando a menor concentração de lipídeos e minerais totais nas farinhas de milho pré-cozidas, outro componente em que ocorrem perdas são as fibras, pois o pericarpo, que é formado em sua maioria por frações fibrosas, é retirado (Giacomelli *et al.*, 2012).

A fibra total é outro componente importante, com a FFA apresentando o maior teor ($10,20 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). A inclusão de fibras na dieta é associada a diversos benefícios à saúde, como a melhora da saúde intestinal e o controle glicêmico (Fernandes *et al.*, 2015). Portanto, a utilização de farinhas com alto teor de fibra pode ser uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de produtos alimentícios funcionais.

A legislação brasileira IN n° 75, de 8 de outubro de 2020 inclui a fibra alimentar na composição da informação nutricional e preconiza um consumo diário de 25 g de fibras, além de classificar o alimento como “fonte” de fibra alimentar quando apresentar teor mínimo de 5,0 g por 100 g do produto, como “alto conteúdo” com teor mínimo de 10,0 g por 100 g e “aumentado” com mínimo de 12,5 g por 100 g (Brasil, 2020). Assim, as amostras do resíduo finos, FFE_x e FFE_s se enquadram na classificação como alimentos que não são fontes de fibras e FFA se enquadra como “alto conteúdo” de fibras. Os resultados de fibras foram diferentes entre si ($p > 0,05$) sendo o menor valor para a FFE_x e o maior valor para a FFA.

O calor e a pressão do tratamento em autoclave podem romper as estruturas da matriz celular das plantas, liberando as fibras que antes estavam encapsuladas. Isso resulta em um aumento na quantidade de fibra disponível na farinha. Segundo Naibaho *et al.* (2021) a exposição térmica devido à autoclave degrada primeiro a hemicelulose e depois a celulose. Como resultado, foram observados aumentos na quantidade de fibra alimentar solúvel (FDS), na viscosidade aparente e na solubilidade.

Os resultados dessa composição físico-química com alto teor de fibras, proteínas e acidez total, significativamente mais alto do que as outras farinhas (Tabela 5) na FFA, aliado

ao tamanho das partículas mais finas observados na avaliação de sua granulometria (Tabela 3) pode beneficiar a funcionalidade nutricional da farinha de finos em autoclave em aplicações de panificação, aumentando seu valor agregado.

Comparando-se os teores de cinzas do resíduo finos ($0,24 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \pm 0,02$) com os das farinhas modificadas, observou-se que FFEs ($0,24 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \pm 0,05$) obteve valor semelhante, enquanto FFA ($0,19 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \pm 0,09$) e FFEx, ($0,17 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \pm 0,04$) valores menores. Tal comportamento também foi observado por Martín-Diana *et al.* (2022), que também reportaram uma diminuição no teor de cinzas após a extrusão, quando avaliaram o desenvolvimento de farinhas mistas sem-glúten após a aplicação de extrusão. Esse comportamento pode estar associado à interação de minerais com fibras e proteínas durante a extrusão (Ramírez *et al.*, 2013).

O método Kjeldahl não quantifica diretamente as proteínas, mas sim o nitrogênio total presente na amostra. Nas modificações realizadas, especialmente com o uso de autoclave em altas temperaturas e pressões, pode ter ocorrido a quebra parcial das proteínas, liberando aminoácidos livres contendo nitrogênio, o que resultaria em uma superestimação do valor de proteína. Esta alteração pode ser observada no espectro de infravermelho (Figura 12), onde a banda de 1640 cm^{-1} , correspondente à ligação C=O da amida I, apresenta maior intensidade na farinha FFA, sugerindo a desnaturação ou fragmentação das proteínas. Além disso, o aumento das intensidades nas bandas de 1640 cm^{-1} , 1444 cm^{-1} e 3438 cm^{-1} reforça a hipótese de maior desnaturação proteica, hidrólise e liberação de compostos nitrogenados, o que justifica o teor elevado de proteína observado na (Tabela 5) para a farinha FFA.

Quando expostas ao calor, as proteínas sofrem desnaturação e criam uma camada na parte externa dos grânulos de amido. Esta camada dificulta a capacidade dos grânulos de absorver água e dissolver (Cetiner *et al.*, 2017). Em comparação ao teor de proteínas do resíduo, a FFEx apresentou o menor valor devido a intensidade do processo, que adiciona o efeito do cisalhamento ao efeito térmico, que provocam a desnaturação proteica, enquanto que a FFEs manteve o valor similar devido a não ocorrência de alteração nas proteínas durante o tratamento e a FFA obteve o maior valor de proteínas ($4,64 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), esse comportamento pode ser explicado pela formação de complexos amilose-lipídios pela ação da temperatura e pressão do vapor deixando as proteínas mais disponíveis (Puncha-Arnon; Uttapap, 2013).

O calor pode promover reações entre aminoácidos e açúcares, como a Reação de Maillard, resultando na formação de compostos nitrogenados intermediários detectáveis pelo método Kjeldahl, mas que não correspondem a proteínas funcionais. O aumento dessas

interações é refletido nas regiões de 1444 cm^{-1} e 1640 cm^{-1} do espectro infravermelho, indicando modificações estruturais (Figura 12).

Tanto o resíduo “finos”, como FFE_x, FFEs e FFA apresentaram valor nutricional e alto valor energético, com potencial para utilização como ingredientes em produtos de alto valor energético e sem glúten, como os produtos de panificação, tal como pães, bolos, *cookies*. O valor energético total da FFA foi ligeiramente inferior à FFE_x e FFEs, que por sua vez, foram superiores ao resíduo “finos” (Tabela 5).

Os carboidratos digestíveis são a principal fonte de energia nas farinhas analisadas. A farinha FFEs apresenta o maior teor de carboidratos digestíveis ($87,87\text{ g }100\text{ g}^{-1}$), o que pode torná-la uma opção interessante para produtos que necessitam de uma rápida liberação de energia, como snacks ou produtos de panificação (Souza *et al.*, 2022). O valor energético total (VET) também é um parâmetro importante, com a FFEs apresentando o maior valor ($375,12\text{ kcal }100\text{ g}^{-1}$). Isso sugere que essa farinha pode ser utilizada em formulações que visam fornecer energia de forma eficiente.

O valor energético total da FFE_x do presente estudo foi inferior aos reportados por Mekonnen, Augchew e Terefe (2024), com os valores de $397,23\text{ kcal g}^{-1}$ para farinha instantânea mista com 70% de milho. O resultado comparável de energia bruta do resíduo finos em relação às farinhas modificadas deve-se principalmente ao fato de que, mesmo que a FFA tenha o menor valor de carboidratos digeríveis, a perda de carboidratos é aparentemente compensada pelo alto teor de proteínas. A FFE_x e a FFEs não foram significativamente diferentes ($p > 0,05$) uma da outra, mas esses valores foram significativamente superiores a FFA.

A farinha FFE_x, com umidade intermediária de 7,97%, retém a quantidade necessária de água para a formação da massa, sem ser excessivamente seca, o que facilita a preparação da arepa. Em contraste, farinhas muito secas, como a FFEs (4,95% de umidade), exigem adição de mais água, dificultando a homogeneização da massa. Com 85,79% de carboidratos digestíveis, a FFE_x oferece maior disponibilidade de amido em relação à farinha FFA (78,88%), promovendo melhor absorção de água e gelatinização do amido, o que contribui para uma textura mais macia, coesa e elástica na massa. Além disso, a menor quantidade de fibras (2,67%) na FFE_x, em comparação com os 10,20% da FFA, evita que a massa se torne densa e pesada, resultando em uma arepa mais leve, fofa e fácil de moldar, sem necessidade de ajustes na receita.

5.5 Índice de absorção de água (IAA), de absorção de óleo (IAO), e de solubilidade em água (ISA)

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) se ligarem às moléculas de água, e a capacidade de formação de gel, o que se reflete na capacidade do amido ou farinha amilácea absorver água. Enquanto o ISA indica o grau de intensidade do processamento, uma vez que se relaciona à quantidade de sólidos solúveis presentes no produto (Moura *et al.*, 2011). A FFEx apresentou os maiores valores de IAA e ISA ($p \leq 0,05$), entre as farinhas modificadas. O menor valor para IAA foi de FFEs, enquanto o ISA das amostras de FFEs e FFA não diferiram entre si (Tabela 6).

O processo de extrusão, dependendo das condições utilizadas, provoca em diferentes graus a gelatinização e a dextrinização dos componentes do amido, além de outras reações como a desnaturação das proteínas, formação de complexos, entre outras, que conduzem a maior exposição e aumento das hidroxilas, e a formação de compostos de baixo peso molecular, que podem influenciar o aumento da absorção e da solubilidade em água (Berwig *et al.*, 2021). Esse fenômeno pode ter ocorrido no tratamento em extrusão do presente estudo em que a FFEx apresentou valor de ISA ($58,96 \pm 0,82$) acentuadamente maior que a amostra não modificada ($1,03 \pm 0,08$) do resíduo “finos”.

Tabela 6. Índice de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO), e índice de solubilidade em água (ISA) (média \pm desvio padrão) do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA)

Parâmetro*	Resíduo	FFEx	FFE	FFA
IAA ¹	$2,57 \pm 0,02$	$13,49 \pm 0,20^a$	$2,45 \pm 0,07^c$	$3,34 \pm 0,01^b$
IAO ²	$2,75 \pm 0,04$	$2,30 \pm 0,07^{ab}$	$2,23 \pm 0,06^b$	$2,44 \pm 0,07^a$
ISA ³	$1,03 \pm 0,08$	$58,96 \pm 0,82^a$	$3,15 \pm 0,34^b$	$3,52 \pm 0,15^b$

*Médias seguidas de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$).¹ g gel g⁻¹ de matéria seca; ² g precipitado. g-1 de matéria seca; ³ %.

O tratamento térmico, dependendo da temperatura e quantidade de água presente, pode aumentar a capacidade de absorção de água, devido a gelatinização do amido presente nas amostras (Da Silva *et al.*, 2008), o que pode justificar o aumento do IAA na FFEx. Apesar do processo de extrusão ter sido conduzido em temperatura mais baixa em relação à usada na modificação em autoclave e estufa, o mesmo produziu farinha modificada com maior grau de

gelatinização, devido a influência da força de cisalhamento, que intensificou o efeito da temperatura. Assim, foi possível verificar que as amostras FFEs e FFA, que sofreram processamento mais brando em relação a FFEx, foram as farinhas modificadas que apresentaram menores índices de absorção e solubilidade em água.

Em comparação ao resíduo “finos”, a FFEs apresentou o valor de IAA similar devido ao processo de modificação em estufa ter provocado pouca gelatinização do amido e em relação às farinhas modificadas apresentou o menor valor de IAA devido a umidade diminuir durante o processamento na estufa de circulação de ar, o que inibiu a gelatinização da farinha modificada, mantendo os grânulos de amido intactos (Figura 11).

Carvalho *et al.* (2012) reportaram que em geral os pré-gelatinizados devem possuir valores de IAA superiores a 6 g g^{-1} , para que apresentem adequada interação com a água, e favoreçam o ganho de peso dos produtos em que são utilizados como ingrediente, e consequentemente aumentando o rendimento. Apenas FFEx obteve IAA nesta faixa ($13,49 \pm 0,20$), o que destacou o seu potencial para aplicação no desenvolvimento de produtos instantâneos ou produtos de panificação sem glúten, por exemplo o pão de arepa.

Raungrusmee e Anal (2019) relataram um aumento significativo do ISA e do teor de amido resistente no amido de arroz nativo, como resultado de tratamento térmico em autoclave, concluindo que o amido modificado por este tratamento físico é adequado para o desenvolvimento de produtos alimentícios que requerem propriedade de ligação à água mais acentuada. Tal característica não foi verificada na FFA no presente estudo, provavelmente em função das diferenças da matéria-prima e das condições de processamento, como o uso do vapor direto.

A alta temperatura pode causar a migração completa da amilose da superfície dos cristais de amilopectina e aumentar a lixiviação de amilose, resultando em maior solubilidade. No entanto, a diminuição da solubilidade após tratamentos hidrotérmicos é devido ao rearranjo interno dos grânulos de amido, proporcionando interações aprimoradas entre grupos funcionais de amido e desenvolvimento de complexos lipídios- amilose dentro do grânulo de amido (Aalya *et al.*, 2021).

Patil *et al.* (2021) avaliaram as propriedades funcionais de farinha de milho extrusada sob diferentes condições de conteúdo de umidade, temperatura e velocidade da rosca, e mostraram IAA de farinhas de milho extrusadas variando de 4,16 a $9,02 \text{ g g}^{-1}$ e ISA variando de 10,99 a 31,18 %, valores menores que os obtidos nesta pesquisa (Tabela 6). O que pode ser atribuído, além das diferenças genéticas, as diferentes condições de umidade, velocidade da rosca e temperatura, que afetam a degradação e a conversão de moléculas.

O IAO determina a capacidade das proteínas da farinha de se ligarem fisicamente à gordura por atração capilar. Este é um parâmetro de qualidade importante para alimentos, porque a gordura atua como retentor de sabor, aumentando a sensação na boca. Maior capacidade de absorção de óleo significa maior retenção de sabor, melhoria da palatabilidade e prolongamento do prazo de validade, o que é interessante para produtos alimentícios, principalmente assados (De La Hera; Gomez; Rosell, 2013).

Na comparação do IAO em relação ao resíduo “finos”, as amostras apresentaram uma redução de 19% para FFEs, 16% para FFEx e 11% para FFA. A FFA apresentou o maior valor de IAO e FFEs o menor ($p \leq 0,05$), enquanto FFEx não diferiu das demais farinhas (Tabela 6). Martín-Diana *et al.* (2022) avaliaram as propriedades funcionais de farinhas de arroz extrusada, e reportaram IAO médio de $2,05 \text{ g g}^{-1}$. Valor ligeiramente inferior aos obtidos neste estudo ($2,30 \pm 0,07$), provavelmente devido a diferença entre a composição química das amostras.

5.6 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Os espectrogramas FT-IR representam as bandas de alongamento, flexão e deformação correspondentes aos grupos funcionais presentes nos grânulos de amido (Aaliya *et al.*, 2021). Os FT-IRs do resíduo “finos” obtido no processamento do flocão de milho e das farinhas de “finos” modificadas fisicamente por extrusão, e tratamentos térmicos em estufa com circulação de ar e autoclave são apresentados na Figura 12.

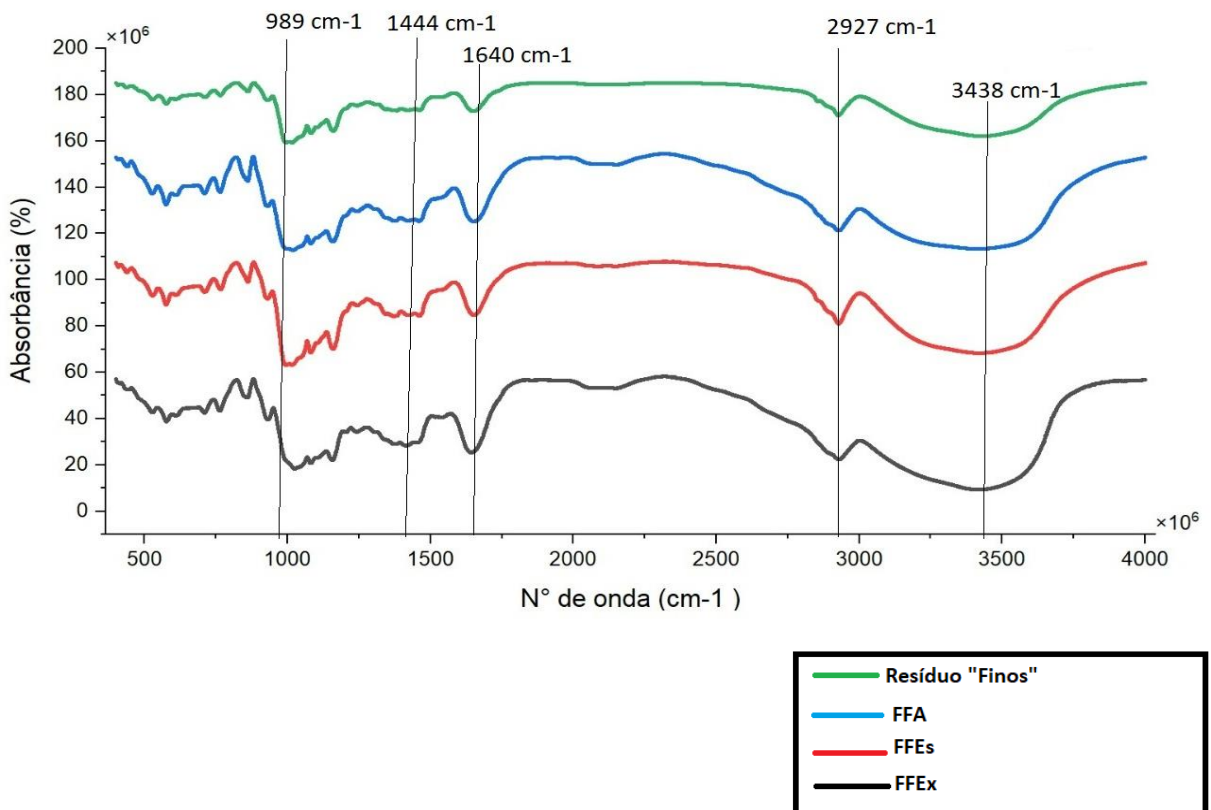


Figura 12. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) das amostras do resíduo “finos” obtido no processamento do floção de milho e das farinhas de “finos” modificadas fisicamente por extrusão (FFEEx), e por tratamento térmicos em estufa com circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA).

A análise de FT-IR revelou alterações significativas na estrutura molecular das farinhas modificadas, evidenciando mudanças nos grupos funcionais devido aos tratamentos térmicos e mecânicos. Picos em 3438 cm^{-1} (O–H), 2927 cm^{-1} (CH_2), e 1640 cm^{-1} (H–O–H) indicam, respectivamente, vibrações relacionadas à hidratação e à desordem estrutural nas regiões amorfas (Muhammed *et al.*, 2020; Navaf *et al.*, 2021).

Após a extrusão, observou-se redução na intensidade das bandas, especialmente em 1640 e 1440 cm^{-1} , associadas à desnaturação de proteínas, corroborando estudos prévios (Guzmán-Ortiz *et al.*, 2015; Aalyia *et al.*, 2021). A amilopectina sofreu maior degradação em amostras extrusadas, devido à gelatinização e cisalhamento, destacando os efeitos do tratamento na estrutura cristalina do amido (Zhou *et al.*, 2019; Marta *et al.*, 2022a).

A extrusão (FFEEx) apresentou maior impacto na estrutura do amido e proteínas, resultando em maior solubilidade e absorção de água, enquanto os tratamentos térmicos menos intensos (FFE e FFA) preservaram mais as características originais do material, com alterações menos pronunciadas nos espectros.

Houve uma redução na intensidade do pico em 3438 cm^{-1} nas farinhas modificadas, indicando alterações nos grupos hidroxila, relacionadas à capacidade de ligação de água devido à reorganização molecular ou quebra de ligações. Esse comportamento está associado ao IAA, que foi maior para a FFEx (Tabela 6), sugerindo uma maior exposição de grupos hidrofílicos devido à dextrinização e gelatinização intensas no processo de extrusão. A menor intensidade desse pico também refletiu alterações na estrutura cristalina do amido, especialmente nas amostras FFEx, com maior grau de desordem estrutural.

Também ocorreu redução do pico em 2927 cm^{-1} , relacionados aos grupos metil e metileno - CH_2 . principalmente em FFEx, o que reflete a degradação das cadeias de carboidratos e lipídios. A diminuição dos lipídios extraíveis em FFEx (Tabela 5) é corroborada pela formação de complexos com amilose, dificultando sua extração, como descrito em estudos similares. A modificação nos grupos CH_2 influencia a solubilidade em água (ISA), que foi maior em FFEx (Tabela 6), evidenciando a presença de moléculas de menor peso molecular devido à degradação térmica.

A mesma tendência de diminuição ocorreu no pico em 1640 cm^{-1} (vibração H–O–H - moléculas de água nas regiões amorfas), principalmente em FFEx e FFEs, o que sinaliza uma reorganização estrutural que reduziu a retenção de água nas regiões amorfas do amido. Esse resultado está diretamente ligado à redução da umidade das amostras das farinhas modificadas após os tratamentos térmicos devido ao calor aplicado (Tabela 5).

As reduções dos picos em 1444 cm^{-1} (flexão CH_3) e 989 cm^{-1} (C–O–H) mostraram uma diminuição da intensidade dessas bandas, especialmente em FFEx, o que refletiu o rompimento de ligações nos carboidratos e nas proteínas, devido à pressão e cisalhamento durante a extrusão. A degradação do amido e a desnaturação das proteínas afetam diretamente a absorção de óleo (IAO), que foi menor em FFEs e FFEx (Tabela 6), indicando menor interação com lipídios (Tabela 5).

Bandas específicas de proteínas (1640 cm^{-1} - amida I e 1440 cm^{-1} - amida II) apresentam uma redução na intensidade em FFEx e FFEs, indicando desnaturação proteica, especialmente no processo de extrusão, onde o calor e o cisalhamento foram mais intensos. Essa modificação está correlacionada com o menor teor de proteínas solúveis em FFEx (Tabela 5), refletindo a formação de complexos proteicos e amido-lipídios, dificultando sua solubilidade.

O calor e a pressão da autoclave desnaturam as proteínas, quebrando ligações e expondo grupos amina ($-\text{NH}_2$), o que favorece a quantificação do nitrogênio pelo método Kjeldahl. Essa modificação é evidenciada no espectro de infravermelho pelo aumento das bandas Amida I (1640 cm^{-1}) e Amida II (1444 cm^{-1}). Além disso, a autoclave pode promover a hidrólise parcial

das proteínas, liberando peptídeos menores e aminoácidos livres, detectados também pelo método Kjeldahl, com a banda de 3438 cm^{-1} (N-H livres) indicando a presença de aminoácidos. A reação de Maillard entre proteínas e açúcares pode gerar compostos nitrogenados não proteicos, interferindo na quantificação de proteínas e refletindo-se nas modificações estruturais observadas nas bandas de 1444 cm^{-1} e 1640 cm^{-1} .

Em relação ao IAA, a maior capacidade de absorção de água em FFEx (Tabela 6) está relacionada ao aumento da desordem estrutural e maior disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH), como indicado pela redução da intensidade do pico em 3438 cm^{-1} .

A respeito do ISA, a maior solubilidade em FFEx está relacionada à fragmentação do amido, indicada pelas alterações nos picos de 2927 cm^{-1} e 989 cm^{-1} . Pois, as moléculas de menor peso molecular são mais solúveis.

Uma possível correlação com a composição proximal do resíduo e das farinhas modificadas (Tabela 5), a diminuição dos teores de proteínas, lipídios e cinzas em FFEx pode ser explicada pela desnaturação e formação de complexos, evidenciados pelas mudanças nos espectros de FT-IR, particularmente nas bandas relacionadas às amidas e aos grupos CH_2 .

5.7 Propriedades térmicas

Todas as farinhas modificadas diferiram entre si ($p < 0,05$) em relação aos parâmetros térmicos avaliados. A amostra de FFEx apresentou os maiores valores para temperatura inicial, temperatura de pico e temperatura final, enquanto os menores valores foram determinados para FFA, e valores intermediários foram verificados na FFEs. Já a entalpia foi maior em FFEs, seguida por FFA e FFEx (Tabela 7).

Tabela 7. Propriedades térmicas das amostras do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA)

TRAT ¹	Tinicial (°C)	Tpico (°C)	Tfinal (°C)	ΔH (J/g)
Resíduo	$66,77 \pm 0,73$	$72,80 \pm 0,14$	$79,16 \pm 1,44$	$3,80 \pm 0,48$
FFEx	$116,04 \pm 6,84^a$	$116,50 \pm 6,67^a$	$121,76 \pm 5,99^a$	$1,12 \pm 0,16^c$
FFE	$68,28 \pm 0,75^b$	$73,26 \pm 0,47^b$	$80,01 \pm 3,54^b$	$3,84 \pm 0,77^a$
FFA	$54,86 \pm 0,48^c$	$60,86 \pm 0,08^c$	$69,65 \pm 0,48^c$	$2,95 \pm 0,14^b$

Os resultados são apresentados como a média de duas repetições \pm desvio-padrão. Letras diferentes nas colunas mostram diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p < 0,05$).¹ Tratamento: FFEx (modificação física em extrusora), FFEs (modificação física em estufa); FFA (modificação física em autoclave) e Resíduo "finos" da farinha de milho flocada.

A FFEs apresentou valores de todos os parâmetros similares aos apresentados pelo resíduo, indicando menores modificações nos termogramas (Tabela 7). Enquanto, os valores muito mais altos das temperaturas de transição e mais baixos de entalpia da FFEx indicam que a extrusão causou a total gelatinização do amido. Desta maneira, FFEx não apresentou uma transição térmica relacionada à gelatinização como as demais farinhas e o resíduo.

As temperaturas de transição obtidas para FFEx corroboram com os encontrados por Morales-Sánchez *et al.* (2021) na avaliação do processo de extrusão em amido de milho, em que a temperatura de pico apresentou valor de 125 °C, não apresentando endotérmica de gelatinização, tal comportamento poderia ser atribuído à formação de um material termicamente mais estável, que requer temperaturas mais altas para mudança de fase.

Jafari *et al.* (2017) mostraram que a diminuição do teor de umidade e o aumento da temperatura da matriz durante a extrusão do sorgo resultaram no aumento dos complexos lipídicos de amilose e na mudança da estrutura cristalina do amido do tipo A para o tipo V. Além disso, a cristalinidade relativa do amido de sorgo diminuiu com um aumento nos complexos amido-lipídico que pode ser devido ao aumento dos complexos amilose-lipídico, resultando na diminuição da associação amilose-amilose e amilose-amilopectina, permitindo apenas a associação intermolecular de amilopectina.

Tinicial e a T_{pico} reduziram na FFA 18 e 16%, respectivamente, quando confrontadas com as obtidas para o resíduo (amido nativo) (Tabela 7). Possivelmente devido à degradação das cadeias de amido durante a modificação, e apresentaram valores similares para a farinha modificada em estufa de circulação (FFE) devido ao processo mais brando na estufa ter provocado pequena gelatinização do amido.

O ΔH medido durante os testes de calorimetria exploratória diferencial, traduz a energia necessária para a completa gelatinização do material. Isto indica que ΔH confere uma medida global de cristalinidade (qualidade e quantidade) e é um indicador da perda de ordem molecular dentro do grânulo (Amador-Rodríguez *et al.*, 2020). Quanto mais gelatinizado o amido das farinhas, menos energia é necessária para atingir a completa gelatinização, ou seja, quanto menor o ΔH mais gelatinizado estava a amostra.

Uma diminuição na entalpia de gelatinização após o processo de extrusão foi observada no presente estudo, em comparação com a amostra de amido de milho não modificada (resíduo),

indicando que a extrusão causou uma gelatinização parcial ou total dos grânulos de amido. O que corrobora com o estudo de Dorantes-Campuzano *et al.* (2024), que avaliaram as interações dos componentes do amido de milho nativo com pectina usando extrusão (formação de complexos).

Durante o processo de extrusão, a gelatinização do amido já ocorre parcialmente, resultando em uma estrutura de amido quase totalmente destruída. Isso diminui a quantidade de energia necessária para completar a transição, explicando o ΔH menor (1,12 J/g) na FFEx. O calor faz com que as moléculas de água penetrem nos grânulos de amido, rompendo ligações internas e fazendo-os inchar. Esse processo geralmente exige muita energia, mas na FFEx, como a estrutura cristalina já foi quase completamente quebrada, o ΔH é reduzido.

Como FFEx e a FFEs apresentaram o menor e o maior valor de entalpia, respectivamente, pode-se inferir que FFEx sofreu uma maior modificação térmica, apresentando-se mais gelatinizada e a FFEs sofreu a menor modificação após o tratamento térmico por HTM em estufa. Bento *et al.* (2021), na avaliação das propriedades tecnológicas após aplicação de métodos de cozimento em farinhas de feijões de diferentes cultivares, observaram que o primeiro pico endotérmico com início de T entre 72,38 e 76,6 °C (pico 1), refere-se ao início da gelatinização dos grânulos de amido. O segundo pico endotérmico com o início de T entre 86,92 e 92,65 °C (pico 2) refere-se à fusão de complexos lipídio-amilose e desnaturação de proteínas. Complexos lipídio-amilose têm uma temperatura de fusão mais alta quando comparado com a temperatura de gelatinização do amido, pois possuem alta estabilidade térmica; e quanto maior o comprimento das cadeias complexas, maior a estabilidade física. Este pico apenas pode ser observado na farinha modificada por extrusão (FFEx) (Tabela 7).

As diferenças nessas propriedades térmicas entre diferentes tratamentos físicos de modificação do resíduo “finos” são atribuídas principalmente à diferença nas propriedades do amido, como sua cristalinidade e ao conteúdo de proteína (Paixão e Silva *et al.*, 2020). Portanto, o tratamento térmico por extrusão promoveu a gelatinização do amido e desnaturação das proteínas. Já o tratamento em estufa promoveu muito pouco a gelatinização, apenas no início do tratamento, pois devido estar em um ambiente aberto na estufa de circulação de ar, a perda de umidade inibiu o processo. O tratamento por autoclave não foi suficiente para gelatinizar totalmente o amido, o que afetou os parâmetros das análises DSC.

5.8 Propriedades de pasta

Todos as propriedades de pasta das farinhas de finos modificadas apresentaram variação significativa ($p \leq 0,05$) em função do tipo de tratamento térmico utilizado (Tabela 8). As propriedades de pasta envolvem o estudo de suspensões de amido-água, fornecendo informações sobre a modificação do amido durante a gelatinização, neste caso após os processos de tratamentos térmicos, enquanto as amostras estão sob condições controladas de estresse térmico e força de corte.

Tabela 8. Propriedades de pasta (média \pm desvio padrão) do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas por extrusão (FFEx), estufa de circulação de ar (FFE) e autoclave (FFA)

RVA	Resíduo	FFEx	FFE	FFA
TpP ¹	67,21 \pm 0,53	76,82 \pm 11,70 ^a	64,72 \pm 1,21 ^b	79,16 \pm 1,48 ^a
VI ²	89,75 \pm 6,50	319,67 \pm 49,41 ^a	86,56 \pm 6,73 ^b	91,83 \pm 4,45 ^b
PV ²	2312,75 \pm 49,95	349,67 \pm 13,87 ^b	2109,78 \pm 114,00 ^a	48,17 \pm 3,71 ^c
VF ²	3805,75 \pm 27,16	200,33 \pm 0,58 ^b	2888,89 \pm 162,14 ^a	67,17 \pm 3,92 ^c
VQ ²	330,25 \pm 25,62	242,33 \pm 14,05 ^b	549,56 \pm 95,14 ^a	3,50 \pm 0,84 ^c
TR ²	1823,25 \pm 34,86	93,00 \pm 1,73 ^b	1328,67 \pm 138,41 ^a	22,50 \pm 1,97 ^c
TP ³	5,55 \pm 0,03	1,31 \pm 0,24 ^b	5,51 \pm 0,10 ^a	6,59 \pm 0,27 ^a

TpP (Temperatura de pasta); VI (Viscosidade inicial); PV (Pico de viscosidade); VF (Viscosidade final); VQ (Quebra de viscosidade); TR (Retrogradação); TP (Tempo de pico). Resíduo "finos" da farinha de milho flocada; FFEx (Farinha de finos extrusada); FFEs (Farinha de finos em estufa) e FFA (Farinha de finos em autoclave). Diferentes letras minúsculas na mesma linha mostram diferenças estatísticas entre os tratamentos de modificação ($p < 0,05$). ¹°C; ²cP, centipoise; ³ min.

Quando os grãos são aquecidos em excesso de água, os grânulos de amido incham e, ao mesmo tempo, parte de seus componentes é solubilizada, dando origem a grânulos de amido inchados e moléculas dispersas em uma suspensão de amido em fase contínua, com maior viscosidade (Amador-Rodríguez *et al.*, 2019). A viscosidade a frio ou viscosidade inicial (VI) refere-se à capacidade de uma suspensão de amido de farinha (ou seja, farinha misturada com água) de desenvolver viscosidade, ou espessamento, em temperatura ambiente ou a baixas temperaturas, a viscosidade máxima equivale ao pico de viscosidade no aquecimento (PV), a viscosidade final após o resfriamento (VF), a viscosidade de quebra (VQ) ou *breakdown*, que equivale a diferença entre o PV e a viscosidade mínima, e a tendência a retrogradação (TR) ou

setback, que corresponde à diferença entre o valor da viscosidade final e o pico de viscosidade, além da temperatura de pasta e tempo de pico de viscosidade (Balet *et al.*, 2019).

Conforme Shuey e Tipples (1980), os grânulos de amido cru são insolúveis em água fria. Entretanto, quando esses grânulos são submetidos aos tratamentos térmicos, ocorre um rompimento nas pontes de hidrogênio que ligam as moléculas em rede micelar e isso favorece a capacidade de hidratação, resultando num processo de intumescimento irreversível. Esse fato pode ser observado pelos baixos valores de viscosidade inicial (a frio) na amostra de resíduo (com amido nativo que sofreu apenas um suave processo térmico com vapor durante o processamento da farinha flocada) (Tabela 8). Acredita-se, portanto que o amido totalmente cru não apresente viscosidade a frio, por ser insolúvel, ao passo que o amido termicamente tratado apresente certo valor de viscosidade a frio, em virtude do intumescimento irreversível, que irá refletir no seu grau de pré-gelatinização.

Assim, os tratamentos térmicos têm capacidade de promover a total ou parcial gelatinização do amido, o que afeta diretamente as propriedades de pasta dos amidos ou materiais amiláceos modificados (Kaur *et al.*, 2015). Por ter sofrido um processamento sob condições mais drásticas, a FFEx teve o amido do resíduo finos gelatinizado, o que resultou em um valor de viscosidade a frio (VI) muito maior ($p \leq 0,05$) que os valores determinados para as demais farinhas, e para o resíduo (Tabela 8). O que pode ser explicado pelo aumento dos grupos hidrofílicos, que possuem aumento da capacidade de formação de pontes de hidrogênio com a água (Amador-Rodríguez *et al.*, 2019), conforme já discutido anteriormente.

Devido ao fato de a FFEx ter capacidade de formar gel com água fria, tal farinha modificada é desejável em produtos panificados sem glúten, que necessitam substituir a função do glúten na massa, e podem fornecer um produto final de qualidade desejável e características tecnológicas próximas aos produtos à base de glúten (Pessanha *et al.*, 2021). Ou ainda de formar massa moldável capaz de reter o vapor de água durante a cocção, contribuindo com a expansão, aeração e leveza do produto, como por exemplo no pão de arepa, atualmente elaborado com farinha de milho pré-gelatinizada (Gwartz; Garcia-Casal, 2014). A FFEx também poderia ser utilizada em formulações de produtos instantâneos quando misturados em água fria, que não necessitam sofrer cocção para ficarem prontos.

A TP está relacionada ao início da formação de pasta de amido. As altas temperaturas de pasta em amidos sob diferentes tratamentos de calor e umidade indicam que há mais força e ligações cruzadas nos grânulos de amido que requerem maior temperatura de aquecimento para quebra estrutural e formação de pasta (Zavareze; Dias, 2011). A TP foi maior ($p \leq 0,05$) em FFA e FFEx, enquanto a TP da FFEs foi semelhante ao resíduo “finos”. Tal tendência também

foi relatado por Mendes, Demiate e Monteiro (2018), em um estudo sobre o efeito de tratamentos físicos por HMT, autoclave e extrusão, sobre as propriedades do amido de milho nativo.

Em relação a VQ, todas as farinhas de finos modificadas diferiram entre si ($p \leq 0,05$), e o maior valor foi verificado na FFEs e o menor na FFA. A FFEx apresentou valor intermediário e 98 % maior que o da FFA (Tabela 8). Uma maior VQ indica ruptura ou baixa tendência do grânulo de amido para resistir às forças de cisalhamento durante o aquecimento. No entanto, uma diminuição no *breakdown* indica que o tratamento melhorou a estabilidade mecânica e térmica dos amidos (Karim *et al.*, 2008).

A farinha de finos modificada por extrusão (FFEx) apresentou perfil RVA de farinha gelatinizada, assim como a farinha de finos modificada em autoclave (FFA), mas a pressão e a alta temperatura da autoclave provavelmente quebrou as cadeias de amilose e amilopectina, o que resultou em uma baixa viscosidade inicial (a frio) e também provocou uma diminuição de todos os demais parâmetros.

Enquanto a farinha de finos modificada em estufa (FFEs) apresentou pouca pré-gelatinização, provavelmente pela diminuição da umidade na estufa com circulação de ar, o que não ocorreu na autoclave e na extrusão (ambientes fechados) fazendo com que o fenômeno ocorresse somente no início do tratamento e depois parasse devido a diminuição da umidade na estufa (ambiente aberto).

O tratamento da extrusão (FFEx) quebrou as moléculas de amilose e amilopectina também, mas provavelmente ocorreu um rearranjo dos fragmentos das moléculas de amilose com moléculas lipídicas e proteicas (formação de complexos), o que não ocorreu na FFA. A formação de complexos amido-lipídio em pastas amiláceas e/ou alimentos amiláceos reduz o poder de inchamento e solubilidade do amido e afeta a gelatinização e retrogradação, reduzindo a taxa de digestão enzimática do amido (Wang *et al.*, 2020).

Portanto, a FFEx e FFA pré-gelatinizou em diferentes níveis, por terem sido submetidas ao ambiente fechado dentro da extrusora e da autoclave, respectivamente, enquanto que a FFES pré-gelatinizou muito pouco por ter sido submetida a um ambiente aberto dentro da estufa com circulação de ar. No entanto, PV, VF, VQ e TR foram menores em FFA, que em FFEs e FFEx (valores intermediários) (Tabela 8). A FFEs apresentou comportamento semelhante a amostra não modificada do resíduo “finos”, com valores aproximados para o amido de milho nativo com temperatura de pasta de $75,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,25$; pico de viscosidade no aquecimento de $2937,00 \text{ cP} \pm 48,50$; viscosidade final de $3153,00 \text{ cP} \pm 79,70$; quebra de viscosidade de $1002,00 \text{ cP} \pm$

42,50 e tendência a retrogradação de $1218,00 \text{ cP} \pm 60,30$, conforme reportado por Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009).

A FFA apresentou temperatura de pasta superior à amostra do resíduo “finos” devido ao fenômeno da pré-gelatinização que ocorreu na farinha. Comportamento parecido na aplicação de autoclavagem em amido de arroz foi observado no estudo de Raungrusmee e Anal (2019) que reportaram VQ de $0,04 \text{ cP} \pm 0,06$ e TR de $3,29 \pm 0,06$.

Exceto pelo tratamento da FFEs, houve um certo grau de degradação dos grânulos de amido e isso foi evidenciado pelo perfil mais baixo de viscosidade durante a análise viscoamilográfica (Tabela 8). Do ponto de vista tecnológico, os amidos ou farinhas amiláceas modificados fisicamente podem ser usados para aproveitar essas novas propriedades de pasta. No caso do tratamento por extrusão, o amido pode ser usado para sopas instantâneas, cremes e alimentos convenientes devido à destrutividade de grânulos de amido que se tornaram solúveis em água fria (Mendes; Demiate; Monteiro, 2018).

O tratamento em autoclave desorganiza parcialmente os grânulos de amido que levam ao aumento da disponibilidade da amilose e cadeias de amilopectina para desenvolver mais inter ou intra-associações com base no tipo de amido, pressão e temperatura da autoclave (Aaliya *et al.*, 2021).

A farinha de milho modificada por extrusão, embora possua alta temperatura de empastamento, pode ser recomendada para utilização em preparações de molhos ou sopas que precisam ser cozidos por 5 a 10 min, pois seus grânulos intumescem lentamente e apresentam viscosidade mais estável a quente. Em contrapartida a FFEs por apresentar comportamento similar ao amido de milho nativo pode ser recomendada para aplicação em produtos embutidos que são produtos mais populares e apresentam em suas formulações o amido de milho nativo. Por fim, a FFA pode ser recomendada para aplicações em sobremesas, sopas instantâneas, snacks, etc. devido a sua característica de amido pré-gelificado sendo usados quando se espera que os produtos sejam solúveis ou dispersíveis em água fria ou sem aquecimento.

5.9 Seleção da melhor farinha modificada para ser usada na formação dos pães de arepa experimentais

Apesar de ser ligeiramente mais escura, a farinha FFEx foi escolhida para substituir parcialmente o resíduo em formulações de pão de arepa devido às suas excelentes propriedades tecnológicas, observadas em gráficos de IR-FT, termogramas e imagens de MEV. A FFEx se destacou com os maiores índices de absorção de água e solubilidade, evidenciando seu potencial para ser utilizada em produtos panificados sem glúten, como o pão de arepa. Suas propriedades térmicas revelaram uma temperatura de transição alta ($T_{pico} = 116,50 \text{ °C}$) e baixa entalpia ($\Delta H = 1,12$), indicando maior gelatinização, o que facilita a hidratação. A extrusão da FFEx resultou em total gelatinização do amido, com a maior viscosidade a frio entre as farinhas modificadas, o que também favorece a produção de produtos sem glúten.

Nos testes preliminares com o pão de arepa experimental, observou-se que a substituição parcial do resíduo fino (amido nativo) por FFEx (amido gelatinizado) aumentou a viscosidade da massa, permitindo a obtenção de uma massa com boa liga, fácil de moldar e com uma textura macia, sem ficar pegajosa ou grudenta. A FFEx possui umidade intermediária (7,97%), o que garante retenção de água suficiente para a formação da massa, sem deixá-la excessivamente seca. Já farinhas mais secas, como a FFEs (4,95% de umidade), exigem a adição de mais água, o que pode dificultar a homogeneização da massa.

Com 85,79% de carboidratos digestíveis, a FFEx tem mais amido disponível para absorver água e formar um gel durante o cozimento, melhorando a textura da arepa. Isso torna a massa mais coesa e elástica, evitando que se quebre ou esfarele. Além disso, a FFEx possui menos fibras (2,67%) comparada à FFA (10,20%), o que impede que a massa fique densa e pesada, como ocorre quando há excesso de fibras. Essa característica resulta em uma arepa mais fofo, macia e com uma textura mais leve, sem a necessidade de ajustes na receita.

5.10 Caracterização físico-química e tecnológica dos pães de arepa

5.10.1 Atividade de água, índice de expansão e cor instrumental

A atividade de água (A_w) dos pães de arepa frescos variou dentro desta faixa, entre 0,86 (PA20) e 0,97 (PAP - com 100 % de substituição do resíduo por farinha pré-cozida comercial) (Tabela 9).

Tabela 9. Atividade de água (A_w), índice de expansão (IE) e parâmetros instrumentais de cor dos pães de arepa produzidos com resíduo recuperado no processamento da farinha de milho

flocada (PAC – pão de arepa controle), com a substituição deste por 10, 20, 30 e 40 % farinha de finos extrusada (FFEx) (PA10, PA20, PA30 e PA40, respectivamente), e com 100 % de substituição do resíduo por farinha pré-cozida comercial (FMC).

Fator ¹	PAC	PA10	PA20	PA30	PA40	PAP
Aw ²	0,92 ± 0,01 ^b	0,89 ± 0,03 ^{bc}	0,86 ± 0,03 ^d	0,87 ± 0,03 ^{cd}	0,95 ± 0,00 ^{ab}	0,97 ± 0,01 ^a
IE ²	1,42 ± 0,02 ^a	1,07 ± 0,01 ^b	1,42 ± 0,03 ^a	1,05 ± 0,01 ^{bc}	1,06 ± 0,01 ^b	1,04 ± 0,02 ^c
L*	65,24 ± 1,93 ^a	62,70 ± 1,78 ^b	61,59 ± 0,51 ^c	62,73 ± 0,99 ^b	62,20 ± 1,65 ^{bc}	64,94 ± 0,36 ^a
a*	6,07 ± 0,26 ^{bc}	6,53 ± 0,61 ^b	8,36 ± 0,54 ^a	5,94 ± 0,29 ^c	8,36 ± 0,82 ^a	6,15 ± 0,48 ^{bc}
b*	31,42 ± 0,81 ^a	27,60 ± 0,39 ^c	26,32 ± 0,70 ^c	28,77 ± 1,83 ^{bc}	29,04 ± 1,75 ^b	33,89 ± 0,86 ^a
C*	32,31 ± 0,35 ^{ab}	28,72 ± 0,15 ^{bc}	27,01 ± 1,37 ^c	28,89 ± 1,54 ^b	30,10 ± 0,92 ^{ab}	34,11 ± 1,19 ^a
H ^{o3}	75,75 ± 2,95 ^{ab}	75,61 ± 2,36 ^{ab}	71,41 ± 1,29 ^c	76,75 ± 0,47 ^{ab}	72,42 ± 1,81 ^b	78,72 ± 1,50 ^a

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente (p ≤ 0,05). ² Aw, Atividade de água; IE, Índice de Expansão (adimensional); ³grau (°).

A faixa de valores de Aw determinada para os pães de arepa experimentais abrangeu o valor de 0,80, relatado para pão árabe produzido com farinha de milho por Amr e Ahmad (2022), e de 0,96 reportado por Báez-Aguilar *et al.* (2022) para tortilhas com farinha de milho nixtamalizado. A variação da atividade de água do pão é influenciada por uma série de fatores, incluindo a espessura do pão, tempo e temperatura de cozimento, características da farinha em relação ao seu teor de proteína e amido modificado e aditivos utilizados, como surfactantes e outros (Amr; Ahmad, 2022).

A Aw é uma característica fundamental da vida útil do pão. O nível de atividade de água pode ser usado como um indicador de crescimento potencial de bolores e leveduras. Pão contendo alta atividade de água estraga mais rápido. A atividade de água de pães varia de 0,80 a 0,98 (Hassan *et al.*, 2020). Portanto, todos os pães de arepa experimentais apresentaram valores de Aw que corroboram com a faixa de valores citada, e apresentaram valores aceitáveis de atividade de água deste tipo de produto.

A escolha adequada da embalagem é essencial para a conservação das arepas. Quando a atividade de água (Aw) é intermediária (entre 0,85 e 0,90), o risco de deterioração é menor, embora ainda exista possibilidade de crescimento de bolores e leveduras. Para esse nível de umidade, recomenda-se o uso de embalagens plásticas com barreira intermediária, como o PEAD (polietileno de alta densidade) ou estruturas multicamadas com EVOH (copolímero etileno-vinil álcool), que controlam a troca de gases, especialmente oxigênio, e ajudam a manter a umidade ideal.

A expansão de snacks de terceira geração e pães produzidos a partir de farinha extrusada são muito influenciadas pela composição dos materiais, bem como pelas condições de extrusão. Durante a extrusão de farinhas amiláceas, o amido passa por um processo termomecânico que leva a reações bioquímicas como gelatinização, ocasionando a expansão do produto formulado com a farinha extrusada, quando o mesmo é submetido a posterior processo térmico, como a fritura e o assamento. Geralmente, a alta temperatura do cilindro leva à gelatinização pronunciada do amido e maior expansão após a passagem pela matriz, além disso, a umidade da alimentação geralmente influencia esta expansão mais do que a temperatura (Chuechomsuk *et al.*, 2024). No presente estudo, o maior IE foi determinado no PA20 e PAC, enquanto o menor no PAP, e valores intermediários nos demais tratamentos (Tabela 9). A gelatinização parcial do amido pode aumentar a consistência da massa e capturar o gás durante a mistura e cozimento (Bourekoua *et al.* 2016), o que também melhora o índice de expansão e a qualidade sensorial dos pães.

Em geral a cor dos biscoitos e pães está relacionada as reações de *Maillard* e de caramelização, que ocorrem durante o cozimento. No entanto, a cor das farinhas utilizadas também tem forte influência neste parâmetro (Mancebo *et al.*, 2018). Em relação aos parâmetros de cor instrumental dos pães de arepa, L^* foi maior (mais claro) no PAC e PAP e o menor valor (mais escuro) no PA40 (Tabela 10). Provavelmente, devido ao resíduo “finos” ser mais claro que a FFEx (Tabela 4). A coordenada de cromaticidade a^* foi menor (menos avermelhado) em PA30, que não diferiu de PAC e PAP, enquanto b^* e $^{\circ}H$ foram maiores (mais amarelados) em PAP, PA30 e PAC. Já C^* foi maior (cor mais saturada) em PAP e PA40, menor (menos saturada) em PA20. Apesar de PA30 apresentar uma luminosidade intermediária, b^* e $^{\circ}H$ foram maiores (mais amarelos) e semelhantes ao do PAP, portanto, com maior valor comercial, uma vez que tais características são desejáveis para o pão de arepa. Paesani, Bravo-Núñez e Gómez (2020), avaliando o efeito da extrusão da farinha de milho integral nas características dos biscoitos sem gluten, reportaram valores de $L^* = 57,90$; $a^* = 11,91$; $b^* = 33,33$; $C^* = 35,41$ e $H^{\circ} = 0,68$. Apesar de serem produtos diferentes, os valores de C^* e b^* que foram semelhantes a amostra padrão (PAP), provavelmente por possuírem farinhas com a mesma origem botânica.

5.10.2 Perfil de textura

Os valores de dureza dos pães de arepa variaram de 12,77 a 22,21 (Tabela 10). PAP apresentou o menor valor de dureza e não diferiu de PA30, enquanto os maiores valores foram

verificados em PA20, PA10 e PAC. Para a coesividade e resiliência os menores valores foram de PA30 e os maiores para PA20. Já para a mastigabilidade o menor valor foi determinado para PA40, seguido por PA30 que não diferiu de PAC. A elasticidade foi maior em PA40, que não diferiu de PA30. Portanto, o PA30 foi menos duro, coesivo e resiliente, possuindo uma boa característica de mastigabilidade, mais parecido com o pão de arepa produzido com a farinha comercial.

Tabela 10. Parâmetros de textura dos pães de arepa produzidos com resíduo recuperado no processamento da farinha de milho flocada (PAC – pão de arepa controle), com a substituição deste por 10, 20, 30 e 40 % farinha de finos extrusada (FFEx) (PA10, PA20, PA30 e PA40, respectivamente), e com 100 % de substituição do resíduo por farinha pré-cozida comercial (FMC).

Fator*	PAC	PA10	PA20	PA30	PA40	PAP
Dureza ¹	17,88 ± 1,17 ^b	19,55 ± 1,38 ^a	22,21 ± 1,81 ^a	13,08 ± 1,03 ^d	15,37 ± 1,28 ^c	12,77 ± 1,08 ^d
Elasticidade	0,89 ± 0,02 ^{bc}	0,91 ± 0,01 ^{ab}	0,86 ± 0,02 ^c	0,91 ± 0,02 ^{ab}	0,93 ± 0,02 ^a	0,89 ± 0,00 ^{bc}
Coesividade	0,44 ± 0,02 ^{ab}	0,42 ± 0,02 ^b	0,45 ± 0,03 ^a	0,37 ± 0,02 ^c	0,42 ± 0,00 ^b	0,43 ± 0,02 ^{ab}
Mastigabilidade ¹	7,52 ± 0,32 ^b	7,34 ± 0,73 ^b	9,66 ± 0,45 ^a	5,23 ± 0,07 ^c	4,74 ± 0,28 ^d	5,39 ± 0,01 ^c
Resiliência ²	14,88 ± 1,09 ^{ab}	14,23 ± 1,07 ^{ab}	16,44 ± 0,84 ^a	9,67 ± 0,37 ^d	11,98 ± 0,43 ^c	12,74 ± 0,85 ^{bc}

*Dados apresentados em média ± desvio padrão (n=10). Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente (p ≤ 0,05). ¹N; ²%.

Os valores obtidos para os pães de arepa podem estar relacionados com o conteúdo de fibra alimentar do resíduo, um pouco maior que o da FFEx (Tabela 5), pois a fibra alimentar, em particular a insolúvel contribuiu para a dureza do produto, assim como foi relatado para pão *glúten-free* por Phimolsiripol, Mukprasirt e Schoenlechner (2012).

Os valores de dureza encontrados nos pães de arepa experimentais com variação de 10 a 40 % de substituição do resíduo por farinha de finos extrusada (FFEx) foram em média similares ao valor obtido por Comettant-Rabanal *et al.* (2021), que utilizaram farinha de milho extrusada em pães sem glúten. Os valores do presente estudo foram superiores aos relatados por Sun *et al.* (2022) em amostras de pão com diferentes níveis de substituição de glúten de milho e apresentaram menores valores de dureza do que aqueles encontrados por Guo *et al.* (2022), que utilizaram farinha de milho roxa superfina para a elaboração de pão no vapor.

5.10.3 Seleção dos pães de arepa para o teste microbiológico e o de aceitação sensorial

As amostras PA20, PA30 e PA40 foram selecionadas para a análise de risco microbiológico, teste de aceitação sensorial e intenção de compra devido à capacidade de estas serem modeladas adequadamente. O amido gelatinizado presente na FFEx, forma gel a temperatura ambiente, e é responsável pela característica de maior moldabilidade do pão de arepa. Níveis inferiores a 20% de substituição dos finos por FFEx provavelmente formaram gel insuficiente, e resultaram em produtos mais quebradiços, menos coesos e com pior aparência.

5.11 Risco Microbiológico das farinhas experimentais e do produto final

Nas farinhas do resíduo finos modificadas fisicamente (FFEx, FFEs e FFA), assim como nos pães de arepa elaborados com farinha comercial, e com 20, 30 e 40% de substituição do resíduo finos por FFEx, não foi detectada a presença de *Salmonella* sp., e os níveis determinados para *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* e bolores e leveduras, estão abaixo dos exigidos pela legislação brasileira para farinhas e pães (Tabela 11).

A Instrução Normativa n° 161, de 1° de julho de 2022, da ANVISA, estabelece para farinhas e pães a ausência de *Salmonella* sp. em 25 g de amostra, para farinhas o limite máximo de 10^2 UFC g⁻¹ de *Bacillus cereus*, para *Escherichia coli* e o máximo de 10^1 UFC g⁻¹, enquanto para bolores e leveduras estabelece o máximo de $5,0 \times 10^2$ UFC g⁻¹ para pães (Brasil, 2022a).

Os resultados da análise microbiológica apontam uma qualidade sanitária satisfatória. Dessa forma, as farinhas de finos modificadas e os pães de arepa foram considerados aptos para consumo, podendo ser utilizadas também como ingredientes na formulação de novos produtos.

Tabela 11. Perfil microbiológico detectado nos pães de arepa das formulações padrão 100% farinha comercial (PAP); 20% de substituição FFEx (PA20); 30% de substituição FFEx (PA30); 40% de substituição FFEx (PA40) e farinha de finos modificadas fisicamente por Extrusão (FFEx); Estufa FFEx) e Autoclave (FFA)

Microrganismo	Farinha de Finos			Pão de Arepa			
	FFEx	FFEs	FFA	PAP	PA20	PA30	PA40
<i>Bacillus cereus</i> ¹	<10x10 ¹	<10x10 ¹	<10x10 ¹	<10x10 ¹	<10x10 ¹	<10x10 ¹	<10x10 ¹
<i>E. coli</i> ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹	<1,0x10 ¹
Bol. e leveduras ¹				<100x10 ¹	<100x10 ¹	<100x10 ¹	<100x10 ¹

Salmonella sp.² Ausência Ausência Ausência Ausência Ausência Ausência Ausência

¹Unidades formadoras de colônias por g (UFC g⁻¹); ²Presença ou ausência em 25 g.

5.12 Aceitação sensorial e intenção de compra dos pães de arepa

Dos julgadores, 47% eram do sexo masculino e 53% do sexo feminino, com faixa etária entre 18 e 60 anos, com média de 21 anos; 73% gostavam de pão de milho, 43% consumiam pão de milho quinzenalmente, sendo que 6% afirmaram consumir até três vezes na semana, 21% pelo menos uma vez na semana, 2% consumiam diariamente e 28% não possuíam hábito de consumo de pão de milho. A melhor aceitação global e avaliação dos atributos com os melhores resultados, comparado com a amostra padrão do produto com farinha 100% comercial (PAP), foi da amostra PA30 com 30% de substituição do resíduo cru pela farinha de finos extrusada.

A textura e o sabor com pior avaliação foram da amostra PA40 (40% FFE_x) e PA 20 (20% FFE_x), respectivamente, sendo justificado a baixa aceitação, devido à alta acidez, sabor marcante da FFE_x e quanto maior sua concentração maior sabor residual (Tabela 12). PA40 teve as pontuações mais baixas de aparência, aroma e textura. Ao mesmo tempo, os grupos PA20 exibiu níveis médios desses parâmetros sensoriais. O teste sensorial indicou que o tratamento com PA30 e o controle resultou em maior nível de aceitabilidade. Tendência similar foi reportada por Mekonnen, Augchew e Terefe (2024), que avaliaram os atributos sensoriais da farinha instantânea de resíduo da cevada, milho e grão de bico germinado, e concluíram que os atributos foram influenciados negativamente a partir de um determinado nível de aumento da proporção do resíduo da cevada nas misturas. O que pode ser devido ao impacto do resíduo nas propriedades físicas como as características do processamento e a qualidade do produto final.

Durante a elaboração dos produtos, foi possível verificar que aqueles contendo a os maiores níveis de substituição dos finos por FFE_x (PA30 e PA40) apresentaram cor mais escura do que a formulação padrão (PAP), o que pode ser atribuído a cor mais escura da FFE_x em relação ao resíduo fino (Figura 13).

Tabela 12. Notas sensoriais médias (\pm desvio-padrão), intenção de compra e índice de aceitação de pães de arepa elaborados com a farinha comercial (PAP) e com a substituição de 20, 30 e 40% de finos por farinha de finos modificada por extrusão termoplástica (FFEx).

Parâmetro	PAP	PA20	PA30	PA40
Aparência	7,49 \pm 1,71 ^a	7,08 \pm 1,70 ^b	7,14 \pm 1,33 ^a	6,91 \pm 1,72 ^b
Textura	6,91 \pm 1,62 ^a	6,63 \pm 1,70 ^a	6,72 \pm 1,52 ^a	6,29 \pm 2,00 ^b
Aroma	6,90 \pm 1,81 ^a	6,89 \pm 1,56 ^{ab}	6,95 \pm 1,49 ^a	6,68 \pm 1,77 ^b
Sabor	6,60 \pm 1,94 ^a	6,19 \pm 1,88 ^b	6,52 \pm 1,88 ^a	6,37 \pm 1,97 ^{ab}
Cor	7,37 \pm 1,91 ^a	7,18 \pm 1,59 ^a	7,02 \pm 1,54 ^b	6,95 \pm 1,63 ^b
Aceitação Global	6,92 \pm 1,55 ^a	6,57 \pm 1,53 ^b	6,93 \pm 1,30 ^a	6,60 \pm 1,57 ^b
IA (%)	76,89 ^a	73,00 ^b	77,00 ^a	73,33 ^b
Intenção de compra	3,38 \pm 1,26 ^a	2,96 \pm 1,22 ^b	3,45 \pm 1,18 ^a	3,22 \pm 1,22 ^c

DP: Desvio padrão; Adição de farinha comercial padrão (PAP): 100% e adição de farinha de finos extrusada (FFEX) - PA20: 20%; PA30: 30%; PA40: 40%; IA: Índice de Aceitabilidade.



Figura 13. Formulação das arepas de milho grelhadas (PAC) com 100% de substituição do resíduo finos por farinha de milho comercial; (PA20): 20 % de substituição do resíduo finos por FFEx; (PA30): 30 % de substituição do resíduo finos por FFEx e (PA40): 40 % de substituição do resíduo finos por FFEx.

Fonte: Próprio autor (2024).

As reações físico-químicas que ocorrem durante a extrusão são geralmente responsáveis pela mudança de cor nos produtos extrusados, dentre os quais, o escurecimento não-enzimático e a degradação dos pigmentos que desempenham um papel importante, além disso, a reação de *Maillard* e a caramelização são a segunda maior reação de escurecimento não-enzimático que

causam a formação de compostos coloridos conferindo cor mais escura aos extrusados (Charles *et al.*, 2024).

Todas as amostras apresentaram índice de aceitabilidade acima de 70%, o que classifica todos os produtos como bem aceitos (Teixeira *et al.*, 1987). Resultados similares foram relatados por Salgado *et al.* (2022), que avaliaram as características sensoriais de pão formulados com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de guavira, e obtiveram índices de aceitabilidade maiores que O teste de intenção de compra indicou que PA 30 obteve as maiores frequências de intenção de compra positiva, correspondendo aos termos “certamente compraria” e “provavelmente compraria”, totalizando 22 e 29 %, respectivamente (Figura 14). O que está diretamente correlacionado com a maior aceitação dessas amostras (Tabela 12).

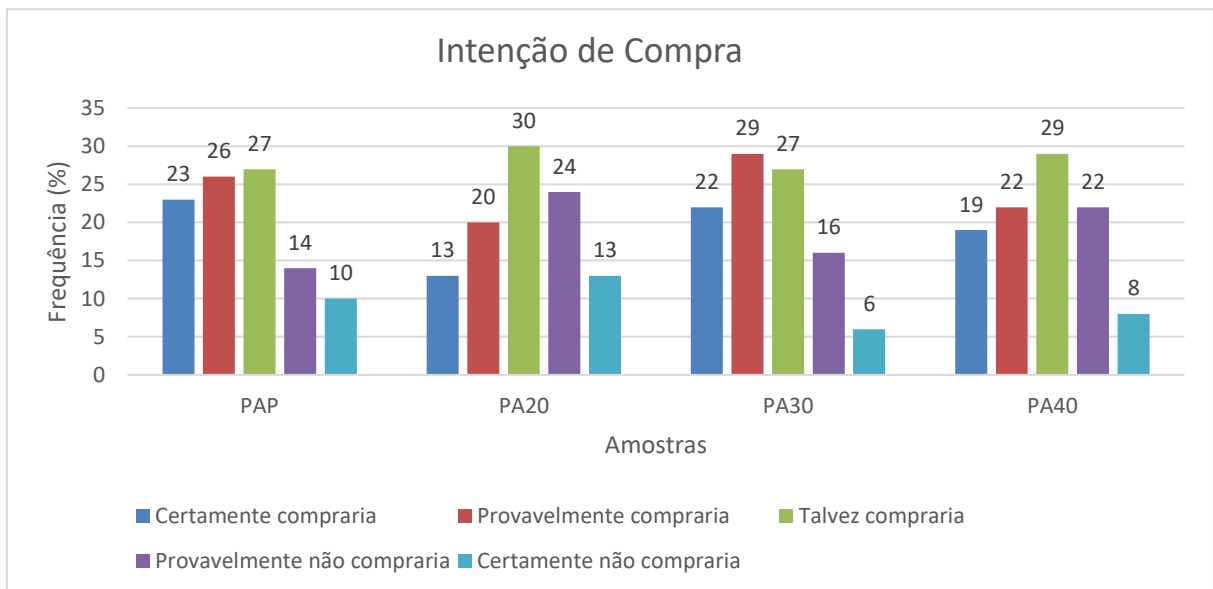


Figura 14. Distribuição da frequência de respostas de intenção de compra das amostras de pães de arepa padrão com 100% de farinha comercial (PAP) e com diferentes níveis de substituição de FFEX (20, 30 e 40%).

A amostra PA20 e PA40 apresentaram maior frequência (30 e 29%, respectivamente) de indecisão na intenção de compra representada pela resposta “talvez compraria”. A amostra PA 20 também apresentou maior frequência de intenção de compra negativa, que corresponde às atitudes de compra “provavelmente não compraria” e “certamente não compraria”, correspondendo a 24 e 13%, respectivamente.

Resultados similares para distribuição de frequência na avaliação da intenção de compra de *snacks* extrusados de farinha de tapioca foram encontrados por Nascimento *et al.* (2021). Pois, estes autores concluíram que a amostra com tratamento T4 (18% de umidade e 7,5% de óleo de canola) foi a que obteve o maior percentual de aceitação de compras pelos provadores

com 65,93% indicaram que certamente compraria ou provavelmente compraria se o produto estivesse a venda. O PA30, que apresentou a melhor aceitação na análise sensorial e intenção de compra, foi caracterizado em relação a composição centesimal e valor energético total.

5.10.3 Composição proximal e valor energético total do pão de arepa selecionado (PA30)

O PA30 apresentou umidade de $32,48 \pm 0,58 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, dentro da faixa de valores reportados por Wased e Islam (2021) para pães sem glúten elaborados com farinha de milho (30-40%). E pouco acima do valor preconizado pela legislação brasileira para pães de milho de no máximo $30,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (NEPA, 2011), o que pode ser facilmente contornado pelo adequado controle da etapa de forneamento. Correa, Castillo e Martelo (2018) reportaram para pães de arepa com ovo o valor de umidade igual a $37,85 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, sendo este superior ao obtido neste estudo, provavelmente devido às diferentes matérias-primas utilizadas, incluindo a cultivar de milho.

O teor de cinzas foi de $2,66 \pm 0,07 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. O teor de cinzas reflete o teor de nutrientes minerais, de modo que este valor de cinzas agrega valor nutricional às arepas, apesar do milho ser caracterizado por ter um baixo conteúdo mineral, dependendo da espécie, variedade e características agrícolas. Resultado semelhante foi relatado por Hassan *et al.* (2024), que atingiram o melhor resultado para o teor de cinzas em tortilhas feitas com farinha de milho nextamalizado e acréscimo de 30% de farinha de soja.

Os teores de proteína e de lipídeos do PA30 foram de $8,70 \pm 0,59 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $7,41 \pm 0,36 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, sendo mais elevados do que nas farinhas utilizadas para sua elaboração, pois o resíduo “finos” e a FFEx apresentaram valores mais baixos (Tabela 5). Esse aumento no teor de proteínas deve estar associado à presença de leite na formulação, assim como o aumento do teor de lipídios deve estar associado ao acréscimo de manteiga, uma vez que esses ingredientes são utilizados como fontes proteicas e melhoria da maciez e do sabor, respectivamente, em pães sem glúten (Marco; Rosell, 2008).

Os valores de proteínas e lipídios deste estudo corroboram com os resultados apresentados por Reis, Souza e Carnelossi (2014) para pães sem glúten elaborados com 30 % de farinha dos resíduos da mandioca. Comparado com os valores obtidos para pães de arepa comerciais com ovo avaliados por Correa, Castillo e Martelo (2018) que encontraram $6,58 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $27,65 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para proteínas e lipídios, respectivamente, o pão de arepa escolhido neste estudo apresentou um maior teor de proteínas e um menor teor de lipídios, esse maior

valor se deve ao óleo incorporado pelo processo de fritura, uma vez que o produto comercial foi frito e o escolhido foi grelhado.

O teor de fibra alimentar total do PA30 foi de $7,53 \pm 0,44 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, esse valor foi inferior aos reportados por Escalante-Aburto et al. (2020) que obteve uma faixa de 10,28 – 11,66 g 100 g⁻¹ para tortilhas de milho obtidas por diferentes processos de nixtamalização. Enquanto os dos carboidratos digeríveis de $41,22 \pm 1,58 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. Os carboidratos são os principais componentes das arepas e se constituem principalmente de amido e fibras. As fibras alimentares desempenham um papel essencial na promoção da saúde intestinal, as fibras também promovem a saciedade, auxiliando no controle de peso, reduzem o risco de doenças crônicas e atuam como prebióticos, favorecendo o crescimento de bactérias benéficas no intestino (Slavin, 2022).

O valor encontrado para os carboidratos em arepas comerciais com ovo por Correa, Castillo e Martelo (2018) foi de 37,00 g 100 g⁻¹, inferior ao teor obtido para o pão de arepa selecionado neste estudo. O conteúdo de carboidratos digeríveis depende do tipo de milho utilizado e das condições do processo de extrusão (Bressani et al., 1958). Esse valor foi inferior ao encontrado por Escalante-Aburto et al. (2020) que obteve uma faixa de 44,08 – 44,81 g 100 g⁻¹ para tortilhas de milho obtidas por diferentes processos de nixtamalização.

O VET estimado para o PA30 foi de $281,46 \pm 0,92 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$. O VET de pães sem glúten feitos com farinha de milho extrusada e sem glúten varia de acordo com a formulação, ingredientes adicionais e métodos de processamento (Adepehin *et al.*, 2022; Conte *et al.*; 2016). No estudo de Correa, Castillo e Martelo (2018) para pães de arepa comerciais com ovo obtidos pelo processo de fritura em que apresentaram um elevado valor de lipídios, também foi obtido um valor elevado de calorías total correspondente a 380,78 kcal 100 g⁻¹. Tais pães tendem a ter maior teor de gordura, contribuindo para uma densidade energética mais alta em comparação com pães de trigo tradicionais, o que também foi observado nesta pesquisa.

Segundo o Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA, 2011), os pães em geral apresentam, em média, de 26 a 41 g de umidade 100 g⁻¹, 8 a 11 g de proteína 100 g⁻¹, 3 a 4 g de lipídios 100 g⁻¹, 56 a 61 g de carboidratos 100 g⁻¹, e 0,5 a 2,5 g de cinzas 100 g⁻¹. Esses valores fornecem uma base de comparação aproximada, mas as variações nos ingredientes tornam os pães de arepa sem glúten um caso particular.

6. CONCLUSÃO

O estudo confirmou a viabilidade técnica e sensorial do aproveitamento do resíduo “finos” da laminação do milho na produção de pão de arepa. A modificação física do resíduo gerou farinhas com propriedades tecnológicas diferenciadas, promovendo sustentabilidade e reaproveitamento agroindustrial. Além do pão de arepa, essas farinhas têm potencial para diversas aplicações, como molhos, sopas, snacks e bebidas vegetais. O PA30 destacou-se pela aceitação sensorial e valor nutritivo, sugerindo viabilidade comercial e exportação. Assim, o trabalho contribui para a inovação alimentar e práticas industriais sustentáveis, alinhadas ao ODS 2 da ONU, “Fome Zero e Agricultura Sustentável”, beneficiando tanto a economia quanto o meio ambiente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo representa um avanço significativo na valorização de subprodutos da indústria do milho, promovendo alternativas sustentáveis para sua aplicação na formulação de alimentos funcionais. O impacto da pesquisa reside na possibilidade de redução do desperdício agroindustrial e na contribuição para a economia circular, incentivando a indústria a adotar estratégias mais sustentáveis. As perspectivas futuras incluem o desenvolvimento de novas formulações alimentícias e a investigação de tratamentos inovadores para aprimorar ainda mais as propriedades tecnológicas e nutricionais dessas farinhas, possibilitando sua inserção em mercados mais amplos e exigentes. Para otimizar ainda mais a aplicação dessas farinhas, futuras pesquisas podem explorar métodos avançados de modificação física, como: Hidratação assistida por ultrassom, tratamento por micro-ondas e modificação enzimática.

REFERÊNCIAS

- AALIYA, B.; SUNOOJ, K.V.; RAJKUMAR, C.B.S.; NAVAF, M.; AKHILA, P.P.; SUDHEESH, C.; GEORGE, J.; LACKNER, M. Effect of thermal pretreatments on phosphorylation of *Corypha umbraculifera* L. Stem pith starch: a comparative study using dry-heat, heat-Moisture and autoclave treatments. **Polymers**, London, v. 13, n. 21, p. 3855, 2021.
- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 68, p. 105-110, 2016.
- ABIMILHO. Associação Brasileira das Indústrias do Milho. **Estatísticas de Milho**. Publicado em: maio/2024. Disponível em: <https://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 19 mai. 2024.
- ADEBOWALE, K. O.; AFOLABI, T. A.; OLU-OWOLABI, B. I. Hydrothermal treatments of finger millet (*Eleusine coracana*) starch. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 19, n. 6, p. 974-983, 2005.
- ADEPEHIN, J. O.; ENUJIUGHA, V. N.; BADEJO, A. A.; YOUNG, G. M.; ODENY, D. A. Physicochemical and sensory attributes of gluten-free sourdough breads produced from underutilised African cereal flours and flour blends. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 58, n. 1, p. 493-501, 2022.
- AGAMA-ACEVEDO, E. PACHECO-VARGAS, G. BELLO-PÉREZ, L.A. ALVAREZ-RAMIREZ, J. Effect of drying method and hydrothermal treatment of pregelatinized Hylon VII starch on resistant starch content. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v.77, n. 4, p.817-82, 2018.
- ALCÂNTARA, S. R.; SOUSA, C.; ALMEIDA, F.; GOMES, J. Caracterização físico-química das farinhas do pedúnculo do caju e da casca do maracujá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 14(Especial), p. 473-478, 2012.
- ALESSI, M. O.; RAUPP, D. S. DA; GARDINGO, J. R. Characterization of biju-type cornmeal processing for by product utilization. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 31-39, 2003.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; FEITOZA, J. V. F.; DA SILVA, G. M.; MUNIZ, C. E. D. S.; EDUARDO, R. D. S.; RIBEIRO, V. H. D. A.; SILVA, V. M. D. A.; MOTA, M. M. D. A. Effect of heat-moisture treatment on the thermal, structural and morphological properties of quinoa starch. **Carbohydrates Polymers Technology Applied**, Oxford, v. 3, p. 100192, 2022.
- AMADEU, L. T. S.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; PAIVA, Y. F.; FERREIRA, J. P. DE L.; REIS, C. G. DOS; SILVA, R. C. DA; ARAÚJO, K. T. A.; COELHO, N. O.; CARNEIRO, E. F. DE S. Farinha de sementes germinadas de abóbora: Aspectos físicos, físico-químicos e colorimétricos. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 3, p. e18810313005, 2021.

- AMADOR-RODRÍGUEZ, K. Y.; SILOS-ESPINO, H.; VALERA-MONTERO, L. L.; PERALES-SEGOVIA, C.; FLORES-BENÍTEZ, S.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Physico-chemical, thermal, and rheological properties of nixtamalized creole corn flours produced by high-energy milling. **Food Chemistry**, Barking, v. 283, p. 481-488, 2019.
- AMADOR-RODRÍGUEZ, K. Y.; SILOS-ESPINO, H.; PERALES-SEGOVIA, C.; FLORES-BENITEZ, S.; VALERA-MONTERO, L. L.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. High-energy alkaline milling as a potential physical and chemical cornstarch ecofriendly treatment to produce nixtamalized flours. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 164, p. 3429-3437, 2020.
- AMARAL, L. F.; FERREIRA, I. M.; SANTOS, N., L. V.; OLIVEIRA, A. M.; FAGUNDES, A. A.; CARVALHO, M. G. Biscoito com especiarias e farinhas de milho e semente de abóbora: desenvolvimento e avaliação da qualidade. **Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 33380, p. 1-17, 2019.
- AMORIM, K. A., PESSOA, C. E., ALVES, V. M., DIAS, L. G., DAMIANI C. Granulometria e atividade de água de farinha de trigo, polvilho e trigo moído. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25., 2016, Gramados. **Anais [...]**. Porto Alegre: FAURGS (Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), 2016.
- AMR, A.; AHMAD, M. N. Production and Quality Evaluation of Arabic Bread from Different Gluten-Free Flours. **Jordan Journal of Agricultural Sciences**, Jordan, v. 18, n. 4, p. 451-464, 2022.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PEPLINSKI, A. J. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 22, n. 4, p. 130–135, 1970.
- ANDRADE, B. A.; PERIUS, D. B.; MATTOS, N. V. D.; LUVIELMO, M. D. M.; MELLADO, M. S. Produção de farinha de banana verde (*musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, n. 0, 2018.
- ANDRADE, M. M. P.; DE OLIVEIRA, C. S.; COLMAN, T. A. D.; DA COSTA, F. J. O. G.; SCHNITZLER, E. Effects of heat–moisture treatment on organic cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapest, v. 115, p. 2115–2122, 2014.
- AOAC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**, 11th ed., St. Paul: AOAC, 2016.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Technical Comité on Microbiological Methods for Foods. **Compendium of methods for microbiological examination of the foods**. Washington: APHA, 2015. p. 120-134; p. 291-323.
- APOSTOLIDIS, E.; STERGIU, A.; KIOUPIS, D.; SADEGHPOUR, A.; PAXIMADA, P.; KAKALI, G.; MANDALA, I. Production of nanoparticles from resistant starch via a simple three-step physical treatment. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 137, p. 108412, 2023.

ARUM, R. H.; SYAMSURI, R.; DEWAYANI, W.; SURYANI; BASRI, E. Nutritional content and organoleptic properties of bread made from modified corn flour. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, Reino Unido, v. 807, p. 022054, 2021.

ASHOGBON, A. O. AND AKINTAYO, E. T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. **Starch - Stärke**, Weinheim, v. 66; n. 1-2; p. 41-57, 2014.

ASRANUDIN, H.; SYARIFIN, A. N.; PURNOMO, A. S.; ANSHARULLAH, A. F. The effect of heat moisture treatment on crystallinity and physicochemical-digestibility properties of purple yam flour. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 120, 2021.

BABU, A.S.; PARIMALAVALLI, R. Effect of autoclaving on functional, chemical, pasting and morphological properties of sweet potato starch. **Journal of Root Crops**, Kerala, v. 39, n. 1, p. 78-83, 2013.

BÁEZ-AGUILAR, A. M.; ARÁMBULA-VILLA, G.; PRINYAWIWATKUL, W.; LÓPEZ ESPÍNDOLA, M.; RAMÍREZ-RIVERA, E. J.; CONTRERAS-OLIVA, A.; HERRERA-CORREDOR, J. A. Effect of calcium hydroxide mixed with preservatives on physicochemical characteristics and sensory shelf-life of corn tortilla. **J Sci Food Agric**, Reino Unido, v. 102, p. 688–695, 2022.

BALAKUMARAN, M.; NATH, G.; GIRIDHARAN, B.; DHINESH, K.; DHARUNBALAJI, A. K.; MALINI, B.; SUNIL, C. K. White finger millet starch: Hydrothermal and microwave modification and its characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 242, part 1, p. 124619, 2023.

BALET, S.; GUELPA, A.; FOX, G.; MANLEY, M. Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: a review. **Food Analytical Methods**, São Paulo, v. 12, p. 2344–2360, 2019.

BANERJEE, K. R.; KUMAR, J. Evaluating the effects of time-dependent drying and pressure heat treatments on the variation of physicochemical and rheological properties of suran starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 263, part 1, p. 130071, 2024.

BEMILLER, J. N. Physical modification of starch. In: **Starch in Food**. 2. ed. Reino Unido: Woodhead Publishing, 2018. p. 223–253.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Physical modification of food starch functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, Los Angeles, v. 6, n. 1, p. 19–69, 2015.

BEMILLER, J. N. Starches: molecular and granular structures and properties. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, Amsterdam, v. 3, p. 159-189, 2019.

BENTO, J. A. C.; BASSINELLO, P. Z.; CARVALHO, R. N.; SOUZA NETO, M. A. de; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S. Functional and pasting properties of colorful bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) flours: influence of the cooking method. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 45, n. 11, p. e15899, 2021.

BENTO, J. A. C.; RIBEIRO, P. R. V.; BASSINELLO, P. Z.; SOUZA, M. A. D.; CARVALHO, R. N.; BRITO, E. S. D.; SOARES JÚNIOR, M. S. Functional properties and

chemical profile of aged carioca beans and cooked under the steam of autoclave. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 9, p. e20220342, 2023.

BERNAL, I. J. Breakfast habits in Venezuela and Colombia: A revealing comparison. In: **Annals of Nutrition and Metabolism**. Allschwilerstrasse 10, CH-4009 Basel, Switzerland: Karger, 2017. p. 244-245.

BERWIG, K. P.; RANIERO, G.; MONTEIRO, C. C. F.; MONTEIRO, A. R. G. Avaliação da qualidade de farinhas de sorgo preparadas por diferentes tratamentos e comparação com farinhas de milho. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 3, p. e50110313181, 2021.

BIANCHINI, M. D. G. D. A.; BELÉIA, A. D. P.; BIANCHINI, A. Modificação da composição química de farinhas integrais de grãos de amaranto após a aplicação de diferentes tratamentos térmicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 1, p. 167-173, 2014.

BOUREKOUA, H.; BENATALLAH, L.; ZIDOUNE, M. N.; ROSELL, C. M. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. **LWT**, Amsterdam, v. 73, p. 342–350, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA n. 12, de 1978: Normas Técnicas Especiais. Brasília: **Diário Oficial da União**: 23 jul. 1978. Disponível em: https://bvsm.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1978/res0012_30_03_1978.html. Acesso em: 30 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N° 150, de 13 de abril de 2017. Dispõe sobre o enriquecimento das farinhas de trigo e de milho com ferro e ácido fólico. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20165624/do1-2017-04-17-resolucaordc-n-150-de-13-de-abril-de-2017-20165414. Acesso em: 09 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa N° 161, de 1° de julho de 2022a. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao>. Acesso em: 05 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa n° 75, de 08 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**: seção 1. p. 113-124, 09 out. 2020. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3882585/IN+75_2020_.pdf/7d74fe2d-e187-4136-9fa2-36a8dcfc0f8f. Acesso em: 09 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC n° 259, de 20 de setembro de 2002. Regulamento Técnico sobre Rotulagem de Alimentos Embalados. Brasília: **Diário Oficial da União**: seção 1, ano 139, n. 184, p. 33-34, 23 set. 2002, Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/legislacao/bibliotecas-tematicas/arquivos/biblioteca-de-alimentos>. Acesso em: 04 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde - MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022b. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. Brasília: **Diário Oficial da União**, nº 126, 6 jul. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos>. Acesso em: 07 mai. 2024.

BRESSANI, R.; PAZ, Y.; PAZ, R.; SCRIMSHAW, N.-S. Chemical Changes in Corn during Preparation of Tortillas. **J. Agric. Food Chem.**, Uberlândia, v. 6, p. 770-774, 1958.

BUENAS DICAS. **Comidas típicas da Colômbia**. Disponível em: <https://www.buenasdicas.com/comidas-tipicas-colombia-985>. Acesso em: 15 ago. 2022.

CARDOSO, W. S.; PINHEIRO, F. D. A.; MACHADO, F. D. P.; BORGES, J. D. S.; RIOS, S. D. **Indústria do milho**. In: BÓREM, A.; RIOS, S. A. (Ed.). *Milho biofortificado*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 175 – 195.

CARVALHO, A. V.; RIOS, A. DE O.; BASSINELLO, P. Z.; FERREIRA, T. F. Efeito dos parâmetros de extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas de farinhas pré-cozidas elaboradas com arroz e feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 4, p. 343–351, 2012.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Composição química de sementes**. In: *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2000. cap. 5, p. 66-97.

CETINER, B.; ACAR, O.; KAHRAMAN, K.; SANAL, T.; KOKSEL, H. An investigation on the effect of heat-moisture treatment on baking quality of wheat by using response surface methodology. **Journal of Cereal Science**, London, v. 74, p. 103–111, 2017.

CHANG, F.; HE, X.; FU, X.; HUANG, Q.; JANE, J-I. Effects of heat treatment and moisture contents on interactions between lauric acid and starch granules. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 62, n. 31, p. 7862–7868, 2014.

CHARLES, A. P. R.; RAMAKRISHNA, R.; KUMAR, P. M.; YOGANANDAN, M.; KUMAR, C. V. R.; RAO, J. (Ed). Effect of extrusion processing parameters on color properties of extrudates. In: **Non-Thermal Food Processing Technologies: Impact on Color Profile**, 1. ed. Flórida: CRC Press, 2024. 297 p., cap. 12.

CHENG, H.; WANG, H.; MA, S.; XUE, M.; LI, J.; YANG, J. Development of a water solubility model of extruded feeds by utilizing a starch gelatinization model. **International Journal of Food Properties**, Londres, v. 25, n. 1, p. 463–476, 2022.

CHENG, K. C.; CHEN, S. H.; YEH, A. I. Physicochemical properties and in vitro digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, London, v. 85, p. 98–104, 2019.

CHUECHOMSUK, S.; BUNCHOM, N.; KORKERD, S.; KALHORU, M. S. THUMTHANARUK, B.; RUNGSARDTHONG, V. Product development of nutritious rice based gluten-free snacks from different formulation of rice varieties by extrusion and their physical, physicochemical and sensory evaluation. **Applied Science and Engineering Progress**, Tailândia, v. 17, n. 3, p. 7397-14, 2024.

CHUWECH, M.; RAKARIYATHAM, N.; TINOI, J.; SUWITCHAYANON, P.; CHANDET, N. Effect of heat–moisture treatment on crystallinity, digestibility properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of purple rice (*Oryza sativa* L. indica) flour. **Processes**, Basel, v. 11, n. 3, p. 969-987, 2023.

COMETTANT-RABANAL, R.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; CHÁVEZ, D. W. H.; GERMANI, R. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. **LWT-Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 150, p. 112042, 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção nacional de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4718-estimativa-aponta-recorde-para-milho-2-safra-com-producao-superior-a-87-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de acompanhamento de safra de grãos 2023/24 – 7º Levantamento**, v. 11, n. 7, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 23 abril 2024.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. DE; SILVA, A. F. DA; SILVA, D. D. DA; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. DA; MENDES, S. M. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2019. 45p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, NT 2).

CONTRERAS-JIMÉNEZ, E. B.; MORALES-SÁNCHEZ, M. L.; REYES-VEGA; M. GAYTÁN-MARTÍNEZ. Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura, **CyTA - Journal of Food**, London, v. 12, n. 3, p. 263-270, 2014.

CORREA, D. A.; CASTILLO, P. M. M.; MARTELO, R. J. Determination of the nutritional composition of arepa with egg. **International Journal of Engineering and Technology**, Istanbul, v. 10, n. 1, p. 57-62, 2018.

COVENIN 2135:2017. **Norma venezolana harina de maíz precocida**. (4ta. Revisión). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas: FODENORCA, 2018.

DA SILVA; E. M. M.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; DE CARVALHO, L. M. J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, 2008.

DA SILVA, E. M. M.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; TEBA, C. D. S. Efeito da extrusão termoplástica nas características de viscosidade de pasta, solubilidade e absorção de água de farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão carioca (BRS Pontal). **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 99-114, 2013.

DE BORBA, V. S.; SILVEIRA, C. O.; ALVES, J. B.; GRUPELLI, V. M.; BADIALE-FURLONG, E. In: CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, E. M.; DA SILVA, B. A. (Ed). **Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**. 1. ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2021, cap. 31, p. 428-457.

DE LA HERA, E.; GOMEZ, M.; ROSELL, C. M. Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 98, n. 1, p. 421–427, 2013.

DELAHAYE, P.; PEÑA. Efecto del salvado de arroz sobre parámetros químicos, físicos y sensoriales de arepas precocidas y congeladas. **Revista de La Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 23, n. 2, p. 234–245, 2006.

DE OLIVEIRA, V. C.; MENDES, F. Q. Formulação de novos produtos a partir do aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma revisão narrativa. *In: Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil*, v. 2, p. 98-115, 2021.

DE SOUZA, V. F.; ORTIZ, J. A. R.; DO NASCIMENTO, E. D. G.; ASCHERI, J. L. R. Pasting properties of expanded extrudate and pellets from corn flour and rice flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 106-114, 2011.

DORNELES, M. S.; AZEVEDO, E. S. DE.; NOREÑA, C. P. Z. Effect of heat treatment at low moisture on the increase of resistant starch content in *Araucaria angustifolia* seed starch. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 150, p. 109639, 2024.

DORANTES-CAMPUZANO, M. F.; VILLAMIEL, M.; CABRERA-RAMÍREZ, A. H.; MORALES-SÁNCHEZ, E.; PRECIADO-ORTÍZ, R. E.; RODRIGUEZ-GARCIA, M. E.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M. Interactions of native maize starch components with pectin using extrusion. **Starch – Stärke**, Weinheim, v. 76, n. 7-8, p. 2300139, 2024.

DWINATA, V. F. S.; KARYADI, J. N. W.; SUSANTI, D. Y.; SAMODRA, A. S.; MAHANANI, R. S.; RAHMAWATI, D. K.; SINUHAJI, P. F. P. Physical characteristics of extrudate with treatment composition ratio of mixed corn grit-soybean flour and extruder barrel temperature. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Reino Unido: IOP Publishing, 2024. p. 012009.

EMBRAPA. **Agroindústria do Milho**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pos-producao/agroindustria-do-milho>. Acesso em: 12 ago. 2022.

ESCALANTE-ABURTO, A.; MARISCAL-MORENO, R. M.; SANTIAGO-RAMOS, D.; PONCE-GARCÍA, N. An update of different nixtamalization technologies, and its effects on Chemical composition and nutritional value of corn tortillas, **Food Reviews International**, Estados Unidos, v. 36, n. 5, p. 456-498, 2020.

EYNG, C.; NUNES, R. V.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; NUNES, C. G. V.; POZZA, P. C. Composição química e aminoacídica e coeficientes de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos de farinhas de penas e sangue determinados em galos cecectomizados. **Revista Brasileira De Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 80-85, 2012.

FANELLI, N. S.; TORRES-MENDOZA, L. J.; ABELILLA, J. J.; STEIN, H. H. Chemical composition of barley and co-products from barley, corn, and wheat produced in South-East Asia or Australia. **Animal Bioscience**, Korea, v. 37, n. 1, p. 105-115, 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Resumo da oferta e procura de cereais da FAO**. Disponível em: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Food energy: methods of analysis and conversion factors**. Relatório de um workshop técnico. Roma, FAO, Food and Nutrition Paper, 2003. 77p. Disponível em: <http://www.fao.org> . Acesso em: 07 mai. 2024.

FEDERICI, E.; SELLING, G. W.; OSVALDO, H. CAMPANELLA, O. H.; JONES, O. G. Thermal treatment of dry zein to improve rheological properties in gluten-free dough. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 115, p. 106629, 2021.

FERNANDES, D. D. S.; DEL, M. S.; SORROCHE, C.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Elaboração de pão de queijo adicionado com farinha de banana verde: características físicas e sensoriais. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 56-65, 2015.

FERRAZZA, F. L. F. Carboidratos. In: DE OLIVEIRA, M.; LANG, G. H.; FERREIRA, C. D. (Ed). **Milho: química, tecnologia e usos**. 1. ed. São Paulo: Blücher, 2022, cap. 2, p. 29-52.

FERREIRA, P. S.; ALMEIDA, E. L. Amido – uma abordagem acerca da composição, estrutura, propriedades, modificação e aplicação. In: MEDEIROS, J. A.; NIRO, C. M. (Ed). **Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades**. 2. ed. São Paulo: Agron Food Academy, 2022, cap. 79, p. 892-908.

FINGER, C.L.; SCHEIDT, D.T.; DEINA, L.E. Desenvolvimento e análise sensorial de *petit suisse* de maracujá e mexerica. II ENCONTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. **Anais [...]**. Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

FONTOURA, L. M.; ASCHERI, J. L. R.; BAZÁN-COLQUE, R. J. Impact on antioxidant activity of including grape peel flour in a novel sorghum-based extruded food. *Food Science and Technology*, Campinas, v. 42, n. e35121, p. 1-10, 2022.

FRASSON, S. F.; COLUSSI, R.; HACKBART, H. C. S.; BORGES, C. D.; FLORES, W. H.; MENDONÇA, C. R. B. Rice starch modification by thermal treatments with avocado oil: Autoclave versus microwave methods. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 267, n. 1, p. 131426, 2024.

GAMBA, R. R.; CARO, C. A.; MARTÍNEZ, O. L.; MORETTI, A. F.; GIANNUZZI, L.; ANTONI DE G. L.; PELÁEZ, A. L. Antifungal effect of kefir fermented milk and *shelf-life* improvement of corn arepas. **International Journal of Food Microbiology**, Oxford, v. 235, p. 85-92, 2016.

GAMERO-BARRAZA, J. I.; PÁMANES-CARRASCO, G. A.; EFRÉN DELGADO, C.; CABRALES-ARELLANO, P.; MEDRANO-ROLDÁN, H.; GALLEGOS-IBÁÑEZ, D.; WEDWITSCHKA, H.; REYES-JÁQUEZ, D. Computational modelling of extrusion process temperatures on the interactions between black soldier fly larvae protein and corn flour starch, **Food Chemistry: Molecular Sciences**, Oxford, v. 8, p. 100202, 2024.

GAO, M.; JIA, J.; ZHANG, C.; LIU, Y.; DOU, B.; ZHANG, N. Structure, properties, and resistant starch content of modified rice flour prepared using dual hydrothermal treatment.

International Journal of Biological Macromolecules, Amsterdam, v. 262, Part 2, p. 130050, 2024.

GIACOMELLI, D.; MONEGO, B.; DELAGUSTIN, M. G.; BORBA, M. M.; RICALDE, S. R.; FACCO, E. M. P.; SIVIERO, J. Composição nutricional das farinhas de milho e da polenta. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 3, p. 415-420, 2012.

GREEN, D. W.; PERRY, R. H. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 8. ed. New York: McGraw Hill Professional, 2007. 2400 p.

GUO, X.; DAI, T.; CHEN, M. DENG, L.; CHEN, J.; LIU, C. Steam bread made by superfine purple corn flour: Texture characteristics and *in vitro* starch digestibility, **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 169, p. 113967, 2022.

GU, Y.; CHEN, B.; XU, R.; LIU, T.; HUANGFU, J.; ZHOU, F.; ZHAO, M.; ZHAO, Q. Effects of heat treatment at different moisture of mung bean flour on the structural, gelation and *in vitro* digestive properties of starch. **Food Chemistry**, Barking, v. 443, p. 138518, 2024a.

GU, Y.; ZHANG, X.; SONG, S.; WANG, Y.; SUN, B.; WANG, X.; MA, S. Structural modification of starch and protein: from the perspective of gelatinization degree of oat flour. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 260, Part 1, p. 129406, 2024b.

GUZMÁN-ORTIZ, F. A.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H.; YEE-MADEIRA, H.; MARTÍN-MARTÍNEZ, E. S.; ROBLES-RAMÍREZ, M. C.; ROJAS-LÓPEZ, M.; BERRÍOS, J.; MORA-ESCOBEDO, R. Physico-chemical, nutritional and infrared spectroscopy evaluation of an optimized soybean/corn flour extrudate. **Journal of Food Science and Technology**, Campinas, v. 52, p. 4066–4077, 2015.

GWIRTZ, A. J.; GARCIA-CASAL, M.N. Processing maize flour and corn meal food products. **New York Academy of Science**, Nova Iorque, v. 1312, n. 1, p. 66-75, 2014.

HASSAN, S. M.; FORSIDO, S. F.; TOLA, Y. B.; BIKILA, A. M. Physicochemical, nutritional, and sensory properties of tortillas prepared from nixtamalized quality protein maize enriched with soybean. **Applied Food Research**, Holanda, v. 4, n. 1, p. 100383, 2024.

HASSAN, E. M.; FAHMY, H. A.; MAGDY, S.; HASSAN, M. I. Chemical composition, rheological, organoleptical and quality attributes of gluten-free fino bread. **Egyptian Journal of Chemistry**, Egito, v. 63, n. 11, p. 4547 – 4563, 2020.

HERNÁNDEZ, B. D.; GUERRA, M. J.; RIVERO, F. Obtención y caracterización de harinas compuestas de endospermo – germen de maíz y su uso en la preparación de arepas. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 194–198, 1999.

HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality, **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 40, n. 10, p.1723–1731, 2007.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agropecuária: Ranking - Agricultura - Valor da produção**. Goiás, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatísticas Econômicas. **Releases: Cereais, leguminosas e oleaginosas. Grandes regiões e unidades da federação, participação na produção**. Centro-oeste, 11 abr. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39736-em-marco-ibge-preve-safra-de-298-3-milhoes-de-toneladas-para-2024>. Acesso em: 23 abri. 2024.

JAFARI, M.; KOOCHKEKI, A.; MILANI, E. Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. **Journal of Cereal Science**, Canadá, v. 75, p. 324–331, 2017.

JALALI, M.; SHEIKHOLESLAMI, Z.; ELHAMIRAD, A. H.; KHODAPARAST, M. H. H.; KARIMI, M. The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread. **Journal Food Science Technology**, Campinas, v. 57, n. 3, p. 993-1002, 2020.

JESULAGBA, T. J.; ANDREA, D.; ABIODUN, Z. A.; OGHENEVO, O.; ABDULSALAM, A. Cost Evaluation of Bread Production from Composite of Wheat Flour and Corn Flour. **Asian Journal of Food Research and Nutrition**, Baghdad, v. 3, n. 1, p. 190-201, 2024.

KAMAU, E. H.; NKHATA, S. G.; AYUA, E. O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. **Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 8, n. 4, p. 1753-1765, 2020.

KAUR, H., BOBADE, H., SHARMA, R.; SHARMA, S. Influence of extruded whole wheat flour addition on quality characteristics of pasta. **International Journal of Food Science & Technology**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 1129–1137, 2024.

KARIM, A. A.; NADIHA, M. Z.; CHEN, F. K.; PHUAH, Y. P.; CHUI, Y. M.; FAZILAH, A. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago starch. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 22, n. 6, p. 1044-1053, 2008.

KAUR, M.; SANDHU, K. S.; AHLAWAT, R.; SHARMA, S. In vitro starch digestibility, pasting and textural properties of mung bean: Effect of diferente processing methods. **Journal of Food Science and Technology**, Campinas, v. 52, n.3, p. 1642–1648, 2015.

KHAMIDAH, A.; ANTARLINA, S. Corn flour substitution at pastry production. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Reino Unido: IOP Publishing, 2022. p. 012058.

KHURSHIDA, S.; DEKA, S.C. Application of microwave and hydrothermal treatments for modification of cassava starch of Manipur region, India and development of cookies. **Journal Food Science and Technology**, Campinas, v. 59, p. 344–354, 2022.

LI, S.; ZHANG, L.; SHENG, Q.; LI, P.; ZHAO, W.; ZHANG, A.; LIU, J. The effect of heat moisture treatment times on physicochemical and digestibility properties of adzuki bean, pea,

and white kidney bean flours and starches. **Food Chemistry**, Barking, v. 440, p. 138228, 2024.

LOPES, E. A.; FRANCO, B. D. G. M. Influência do controle da etapa de molhagem dos grãos na qualidade microbiológica da farinha de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 209-218, 2006.

MAHENGHE, A. B. **Nutritional, physical and sensory quality of extruded instant white sorghum-pigeon peas gruel flour**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Alimentares Garantia de Qualidade e Segurança) – Sokoine, University of Agricultura, Morogoro, 2018.

MANALU, M.; RUMIDA; JULIANTI, E.; ROMAULI, N. D. M. Composites flour formulation made from yellow pumpkin, purple sweet potato, corn, and wolf-herring flour for replacement of wheat flour on low- and high- moisture foods part I: Cookies and muffin. **Food and Humanity**, Amsterdam, v. 2, p. 100261, 2024.

MANCEBO, C. M.; RODRÍGUEZ, P.; MARTÍNEZ, M. M.; GOMEZ, M. Effect of the addition of soluble (nutriose, inulin and polydextrose) and insoluble (bamboo, potato and pea) fibres on the quality of sugar-snap cookies. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 53, n. 1, p. 129–136, 2018.

MARCO, C.; ROSELL, C. M. “Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads”, **European Food Research and Technology**, Alemanha, v. 227, p. 1205-1213, 2008.

MARTA, H.; CAHYANA, Y.; ARIFIN, H. R.; KHAIRANI, L. Comparing the Effect of Four Different Thermal Modifications on Physicochemical and Pasting Properties of Breadfruit (*Artocarpus Altilis*) Starch. **Int. Food Research Journal**, Ottawa, v. 26, n. 1, p. 269-276, 2019.

MARTA, H.; CAHYANA, Y.; BINTANG, S.; SOEHERMAN, G. P.; DJALI, M. Physicochemical and pasting properties of corn starch as affected by hydrothermal modification by various methods, **International Journal of Food Properties**, London, v. 25, n. 1, p. 792-812, 2022a.

MARTA, H.; HASYA, H.N.L.; LESTARI, Z.I.; CAHYANA, Y.; ARIFIN, H.R.; NURHASANAH, S. Study of Changes in Crystallinity and Functional Properties of Modified Sago Starch (*Metroxylon sp.*) Using Physical and Chemical Treatment **Polymers**, Texas, v. 14, n. 22, p. 4845, 2022b.

MARTÍN-DIANA AB, BLANCO ESPESO B, JIMENEZ PULIDO IJ, ACEBES MARTÍNEZ PJ, RICO D. Twin-Screw Extrusion as Hydrothermal Technology for the Development of Gluten-Free Teff Flours: Effect on Antioxidant, Glycemic Index and Techno-Functional Properties. **Foods**, Basel, v. 11, n. 22, p. 3610-3632, 2022.

MARTÍNEZ-LARA, N. D.; GARZÓN-CASTRO, C. L.; FILOMENA-AMBROSIO, A. Nu-support vector classification training for feature identification in " Arepas": A colombian traditional food. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING (ATEE)*, 13., 2023, Bucuresti. **Anais[...]**. Bucuresti: Politehnica Bucuresti, 2023. p. 1-5.

- MARTINEZ-MIRANDA, M. M.; ROSERO-MOREANO, M.; TABORDA-OCAMPO, G. Occurrence, dietary exposure and risk assessment of aflatoxins in arepa, bread and rice. **Food Control**, Campinas, v. 98, n. 2, p. 359-366, 2019.
- MASSAROLO, K. C.; FERREIRA, C. F. J.; BORBA, V. S.; SILVA, M. N.; KUPSKI, L.; BADIALE-FURLONG, E. Efeito do processamento hidrotérmico na disponibilidade de ácidos fenólicos em farinhas de milho. *In*: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR (SBCTA-RS), 6., 2018, Gramados. **Anais[...]**. Gramados: FAURGS, 2018.
- MATIA-MERINO, L.; PRIETOB, M.; ROMANB, L.; GÓMEZ, M. The impact of basil seed gum on native and pregelatinized corn flour and starch gel properties. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 89, p. 122-130, 2019.
- MEKONNEN, W. E.; AUGCHEW, E. D.; TEREFE, Z. K. Evaluation of proximate composition, physicochemical properties, and sensory attributes of instant flour from brewery spent grain, by blending with maize (*Zea mays* L.) and germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.), **International Journal of Food Science**, Oxford, v. 2024, p. 2352758, 2024.
- MENDES, M. P.; DEMIATE, I. M.; MONTEIRO, A. R. G. Effect of individual and combined physical treatments on the properties of corn starch. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 40, n. 1, p. 35118, 2018.
- MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, Porto Alegre, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.
- MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.
- MONSIERRA, L.; MANSILLA, P.S.; PÉREZ, G.T. Whole flour of purple maize as a functional ingredient of gluten-free bread: effect of in vitro digestion on starch and bioaccessibility of bioactive compounds. **Foods**, Basileia, v. 13, n. 2, p. 194-210, 2024.
- MORAES, E. A., CARRARO, J. C. C.; DANTAS, M.I.S.; COSTA, N.M.B.; RIBEIRO, S.M.R.; MARTINO, H.S.D. Qualidade proteica e eficiência alimentar de farinhas integrais de linhaça obtidas de sementes cruas e submetidas a tratamento térmico. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 531-536, 2010.
- MORALES-SÁNCHEZ, E.; CABRERA-RAMÍREZ, A. H.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M.; MENDOZA-ZUVILLAGA, A. L.; VELÁZQUEZ, G.; MÉNDEZ-MONTEALVO, M. G.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Heating-cooling extrusion cycles as a method to improve the physicochemical properties of extruded corn starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 188, p. 620-627, 2021.
- MOURA, L. D. M.; ASCHERI, J. L. R.; SILVA, C. D. O.; MORO, T. D.; DE CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R. Propriedades de absorção e solubilização de extrudados de farinha mista de feijão, milho e arroz biofortificados. *In*: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. **Resumos[...]**. Teresina: Embrapa Meio-Norte (Embrapa Agroindústria de Alimentos), 2011. 1 CD-ROM.

MUHAMMED, N.; SUNOOJ, K.V.; AALIYA, B.; SUDHEESH, C.; GEORGE, J. Physico-chemical, functional, morphological, thermal properties and digestibility of Talipot palm (*Corypha umbraculifera* L.) flour and starch grown in Malabar region of South India. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Porto, v. 14, p. 1601–1613, 2020.

MUTESI, S. **Use of extrusion technology in instantizing a porridge flour formulation**. 2021. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Ciência de Alimentos e Nutrição, Universidade Makerere, Uganda, 2021.

NAÇÕES UNIDAS. Os objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 14 nov. 2024.

NAIBAHO, J.; KORZENIOWSKA, M.; WOJDYŁO, A.; FIGIEL, A.; YANG, B.; LAAKSONEN, O.; VIIARD, E. Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient. **LWT**, Amsterdam, v. 149, p. 111877, 2021.

NASCIMENTO, W. J.; DA SILVA, D. M. B.; ALVES, E. S.; MONTEIRO, A. R. G. Development and characterization of extruded snack based on tapioca flour, and sensory evaluation on purchase intention. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 2, p. e15310212395, 2021.

NAVAF, M.; SUNOOJ, K.V.; AALIYA, B.; SUDHEESH, C.; AKHILA, P.P.; SABU, S.; SASIDHARAN, A.; GEORGE, J. Talipot palm (*Corypha umbraculifera* L.) a nonconventional source of starch: Effect of citric acid on structural, rheological, thermal properties and in vitro digestibility. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 182, p. 554-563, 2021.

NAWAZ, H.; WAHEED, R.; NAWAZ, M.; SHAHWAR, D. Physical and chemical modifications in starch structure and reactivity. **Chemical Properties of Starch**, London, v. 9, p. 13-35, 2020.

NEGASA, F.; SOLOMON, A.; GIRMA, D. Effect of traditional and hermetic bag storage structures on fungus contamination of stored maize Grain (*Zea mays* L.) in Bako, Western Shoa, Ethiopia. **African Journal of Food Science**, Nigeria, v. 13, n. 3, p. 57-64, 2019.

NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos** / NEPA – UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em: https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 21 jan. 2025.

NUNES, R.V.; ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; GOMES, P. C.; TOLEDO, R. S. Composição bromatológica, energia metabolizável e equações de predição da energia do grão e de subprodutos do trigo para pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia** [online], Viçosa, v.30, n.3, p.785-793, 2001.

OLAECHEA, J.; CHAPARRO, L. Evaluación de las características físico-químicas, microbiológicas, sensoriales y funcionales de harinas de maíz (*Zea mays*) obtenidas por procesos artesanales de nixtamalización. **Agroindustria, Sociedad y Ambiente**, Barquisimeto, v. 1, n. 14, p. 4-20, 2020.

OLIVEIRA, M.; LANG, G. H.; FERREIRA, C. D. **Milho: química, tecnologia e usos**. São Paulo: Blucher, 2022. 432p.

PAESANI, C.; BRAVO-NÚÑEZ, A.; GÓMEZ, M. Effect of extrusion of whole-grain maize flour on the characteristics of gluten-free cookies. **LWT**, Amsterdam, v. 132, p.109931, 2020.

PAIXÃO E SILVA, G. D. L.; BENTO, J. A. C.; RIBEIRO, G. O.; LIÃO, L. M., SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M. Application potential and technological properties of colored sweet potato starches. **Starch -Stärke**, Porto, v. 73, n. 1–2, p. 2000100, 2020.

PARK, S.; KIM, Y-R. Clean label starch: production, physicochemical characteristics, and industrial applications. **Food Science Biotechnology**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 1-17, 2021.

PASQUALONE, A.; COSTANTINI, M.; FACCIA, M.; DIFONZO, G.; CAPONIO, F.; SUMMO, C. The effectiveness of extruded-cooked lentil flour in preparing a gluten-free pizza with improved nutritional features and a good sensory quality. **Foods**, Basileia, v. 11, n. 3, p. 482-500, 2022.

PATIL, S.; KAUR, C.; PUNIYA, M. K.; MAHAPATRA, A.; DHAKANE-LAD, J.; JALGAONKAR, K.; MAHAWAR, M. K. Functional properties of extruded corn flour. **Turkish Journal of Agricultural Engineering Research**, Turquia, v. 2, n. 1, p. 167-174, 2021.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. DA; BARRETTO, P. A. DE A.; MAZAL, G.; FAKHOURI, F. M.; STEEL, C. JOY; COLLARES-QUEIROZ, F. Desenvolvimento de massa alimentícia fresca funcional com a adição de isolado proteico de soja e polidextrose utilizando páprica como corante. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 767–778, 2008.

PESQUISA CNI-IBOPE: Retratos da sociedade brasileira: meio ambiente. Brasília: CNI, 2012. 51 p. Disponível em: <https://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo>. Acesso em: 14 nov. 2024.

PESSANHA, K. L. F.; DE MENEZES, J. P.; DOS ANJOS SILVA, A.; DA SILVA FERREIRA, M. V.; TAKEITI, C. Y.; CARVALHO, C. W. P. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread. **LWT**, Amsterdam, v. 147, p. 111495, 2021.

PIROSKI, C. S.; BEDIN, A. C.; LACERDA, L. G.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I. M. In vitro digestibility of starch from ready-to-eat cassava and corn flours. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 64, n. spe, p. e21200693, 2021.

PHIMOLSIRIPOL, Y.; MUKPRASIRT, A.; SCHOENLECHNER, R. Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. **Journal of Cereal Science**, London, v. 56, n. 2, p. 389–395, 2012.

POSADA, D. S. Z.; RIVERA, S. C.; DELGADO, C. J. L. (Ed). **Situación sanitaria y determinación de la Evaluación del riesgo en las empresas productoras de arepas de maíz del área metropolitana del departamento de Antioquia**. 1 ed. Antioquia: Facultad de Ingeniería, 2013. cap. 1, p. 1-67.

PUNIA, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 144, p. 578–585, 2020.

PUNCHA-ARNON, S.; UTTAPAP, D. Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat–moisture treatment. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 91, n. 1, p. 85–91, 2013.

PUTTERO, S.; VERNA, E.; GENTA, G.; GALETTO, M. Improved quality control and sustainability in food production by machine learning, **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 122, p. 533-538, 2024.

RABIE, M. M. A., GHONEIM, G. A., YOUSSEF, M. R. G.; ABO EL-MAATY, M. M. Production of gluten-free biscuits for celiac patients using yellow corn flour, sweet lupine and sweet potato powders. **Journal of Food and Dairy Sciences**, Frankfurt, v. 15, n. 2, p. 37-45, 2024.

RAMÍREZ, J.; WANDERLEI, C.; MELÉNDEZ, A.; LIMA, O.; PENTEADO, M. Caracterización físico-química de pellets extruídos de torta de Higuierilla (*Ricinus comunis* L.) visando su uso en alimentos balanceados. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE RESIDUOS SOLIDOS. **Anais...**Lima: AIDIS/DIRSA/APIS, 5., 2013.

RAUNGRUSMEE, S.; ANAL, A. K. Effects of lintnerization, autoclaving, and freeze-thaw treatments on resistant starch formation and functional properties of *Pathumthani* 80 rice starch. **Foods**, Basel, v. 8, n. 11, p. 558-577, 2019.

RAUWENDAAL, C. **Understanding Extrusion**. Cincinnati: Ed. Hanser/Gardner, 1998. 190p.

REIS, I. A. O.; SOUZA, J. F.; CARNELOSSI, M. A. G. Análise sensorial e caracterização de pães produzidos com farinha de resíduos da mandioca minimamente processada. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 10, n. 4, p. 049903, 2014.

RIFNA, E. J.; DWIVEDI, MADHURESH; CHAUHAN, O. P. Role of water activity in food preservation. In: **Advances in food chemistry: Food components, processing and preservation**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 39-64.

ROCHA-VILLARREAL, V.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; SERNA-SALDIVAR, S. O.; GARCÍA-LARA, S. Hydrothermal treatment of maize: Changes in physical, chemical, and functional properties. **Food Chemistry**, Barking, v. 263, p. 225-23, 2018.

ROOS, Y. H. Water activity and molecular mobility in foods. **Food Biophysics**, Ouro Preto, v. 5, n. 4, p. 251-258, 2010.

ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technology**, Campinas, v. 27, n. 8, p. 46-53, 1973.

SALGADO, C. S.; ALEXANDRE, A. C. N. P.; AMARAL, L. A.; SARMENTO, U. C.; NABESHIMA, E. H.; NOVELLO, D.; SANTOS, E. F. Addition of guavira peel flour in

bread: physical-chemical and sensorial characteristics. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 25, p. e2021170, 2022.

SÁNCHEZ-MADRIGAL, M. A.; NEDER-SUÁREZ, D.; QUINTERO RAMOS, A.; RUIZ-GTIÉRREZ, M. G.; MELÉNDEZ-PIZARRO, C. O.; PINON-CASTILHO, H. A.; GALICIA-GARCÍA, T.; RAMÍREZ-WONG, B. Physicochemical properties of frozen tortillas from nixtamalized maize flours enriched with β -glucans. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 35, n. 3, p. 552-560, 2015.

SARIFUDIN, A.; ASSIRY, A. M. Some physicochemical properties of dextrin produced by extrusion process. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, King Saud, v. 13, n. 2, p. 100-106, 2014.

SCARPINO, V.; BRESCIANI, A.; BLANDINO, M. The effects of the extrusion process used for the production of maize snacks and pasta on the free, bound, and total B fumonisin contents, **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 198, p. 115977, 2024.

SCHMIELE, M.; SAMPAIO, U. M.; CLERICI, M. T. P. S. Basic principles: Composition and properties of starch. In: **Starches for food application**. Itaquera: Academic Press, 2019. p. 1-22.

SCHNELL, M.; DELAHAYE, E. P. De.; MEZONES, Y. Metabolic responses to Venezuelan corn meal and rice bran supplemented arepas (breads). **Cereal Chemistry**, St Paul, v. 82, n. 1, p. 77-80, 2005.

SCHUTTE, M.; HAYWARD, S.; MANLEY, M. Nonenzymatic browning and antioxidant properties of thermally treated cereal grains and end products. **Journal of Food Biochemistry**, Porto, v. 2024, n. 1, p. 1-20, 2024.

SECEX/ME. Ministério da Economia. Secretária de Comércio Exterior. **Balança Comercial Preliminar Mensal**. Disponível em: https://balanca.economia.gov.br/balanca/pg_principal_bc/principais_resultados.html. Acesso em: 26 out. 2022.

SENTHILKUMAR, K.; NAVEEN KUMAR, M.; CHITRA DEVI, V.; SARAVANAN, K.; EASWARAMOORTHY, S. Agro-industrial waste valorization to energy and value added products for environmental sustainability. In: PRAVEEN KUMAR, R.; BHARATHIRAJA, B.; KATAKI, R.; MOHOLKAR, V. (eds) **Biomass valorization to bioenergy, energy, environment, and sustainability**. Singapore: Springer, 2020. p. 1-9.

SHAHEEN, S.; SHORBAGI, M.; LORENZO, J. M.; FARAG, M. A. Dissecting dietary melanoidins: formation mechanisms, gut interactions and functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 62, n. 32, p. 8954–8971, 2021.

SHINOHARA, N. K. S.; SILVA, A. M. S.; LEÃO, F. A. S.; SILVA, T. R. da; SOBRAL, A. M. S.; ANDRADE, P. K. B. de; FREITAS, J. R. de; FILHO, M. C. Microbiological profile in flaked corn flour. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 2, p. e31010212585, 2021.

SHUEY, W.C.; TIPPLES, K.H. **The amylograph handbook**. St. Paul: AACC, 1980. 37p.

- SIDDIQI, R. A.; SINGH, T. P.; RANI, M.; SOGI, D. S.; BHAT, M. A. Diversity in grain, flour, amino acid composition, protein profiling, and proportion of total flour proteins of different wheat cultivars of North India. **Frontiers in Nutrition**, Lausanne, v. 7, p. 141 -156, 2020.
- SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; MODESTA, R. C. D. Aceitabilidade de biscoitos e bolos à base de arroz com café extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 1-5, 2009.
- SILVA, E. M. M. da; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; TEBA, C. S. Efeito da extrusão termoplástica nas características de viscosidade de pasta, solubilidade e absorção de água de farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão carioca (brs pontal). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 99-114, 2013.
- SINGH, R.; DAS, R.; SANGWAN, S.; ROHATGI, B.; KHANAM, R.; PEERA, S. K. P. D.; DAS, S.; LYNGDOH6, Y. A.; LANGYAN, S.; SHUKLA, A.; SHRIVASTAVA, M.; SHIVDHAR, M. Utilisation of agro-industrial waste for sustainable green production: a review. **Environmental Sustainability**, Seoul, v. 4, p. 619–636, 2021.
- SLAVIN, J. L. Dietary fiber and health: A review of the evidence. **Nutrition Research Reviews**, Reino Unido, v. 35, n. 2, p. 203-215, 2022.
- SOLAESA, A. G.; VILLANUEVA, M.; VELA, A. J.; RONDA, F. Impact of microwave radiation on in vitro starch digestibility, structural and thermal properties of rice flour. From dry to wet treatments, **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 222, part B, p. 1768-1777, 2022.
- SOUZA, P. G. D.; PANTOJA, L. D. A.; SANTOS, A. S. D.; MARINHO, H. A.; SILVA, J. B. A. E. Avaliação físico-química da farinha de pupunha (*bactris gasipaes kunth*) para uso alimentício. **Brazilian Journal of Science**, São José dos Pinhais, v. 1, n. 2, p. 65-74, 2022.
- SOUKI-RINCÓN, A.; ALMARZA, J.; MENGUAL, E.; CANO-PEÑALOZA, R.; FUENMAYOR, E.; AGUIRRE, M.; REYNA-VILLASMIL, N.; CANO-PONCE, C.; ARAUJO, S.; MENGUAL LETT, E.; INGLET, G. E.; ZAFAR H. I.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R.; VELASCO, M. Arepas made from β -glucans enriched corn flour produced low metabolic responses in healthy subjects. **Revista Latinoamericana de Hipertensión**, Venezuela, v. 3, n. 7, p. 211-215, 2008.
- STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. London: Academic Press, 1985. 338p.
- STRAZZI, S. **Industrialização**. Visão Agrícola N° 13, p. 146-150, 2015. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Industrializacao-artigo4.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.
- SUBROTO, E.; MAHANI, I. R.; YARLINA, V. P.; IZZATI, A.N. A Mini Review of Physicochemical Properties of Starch and Flour by Using Hydrothermal Treatment. **Polymers**, London, v. 14, n. 24, p. 5447-5472, 2022.

SUN, X.; DOU, Z.; SHURSON, G. C.; HU, B. Feeding value improvement by co-fermentation of corn-ethanol co-product and agro-industrial residues with *Rhizopus oryzae*. **Process Biochemistry**, Washington, v. 111, p. 144-153, 2021.

SUN, X.; DOU, Z.; SHURSON, G. C.; HU, B. Bioprocessing to upcycle agro-industrial and food wastes into high-nutritional value animal feed for sustainable food and agriculture systems. **Resources, Conservation & Recycling**, Beijing, v. 201, p. 107325, 2024.

SUN, X.; MA, L.; ZHONG, X.; LIANG, J. Potential of raw and fermented maize gluten feed in bread making: Assess of dough rheological properties and bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 162, p.113482, 2022.

SURI, S.; SINGH, A. Modification of starch by novel and traditional ways: influence on the structure and functional properties. **Sustainable Food Technology**, Washington, v. 1, n. 3, p. 348-362, 2023.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1987. 180p.

TENE, S. T.; KLANG, J. M.; HOUKETCHANG, S. C. N.; BOUNGO, G. T.; WOMENI, H. M. Characterization of corn, cassava, and commercial flours: Use of amylase-rich flours of germinated corn and sweet potato in the reduction of the consistency of the gruels made from these flours—Influence on the nutritional and energy value. **Food Science & Nutrition**, London, v. 7, n. 4, p. 1190-1206, 2019.

VAZ JUNIOR, S. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2020. 26 p. - (Embrapa Agroenergia / Documentos, 31).

VENTURA, M. V. A.; BATISTA, H. R. F.; BESSA, M. M.; COSTA, E. M.; PEREIRA, L. S.; SILVA, R. M. Production cost of transgenic corn in the first and second harvest in different regions in Brazil. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 7, p. e279974136, 2020.

WANG, Q.; LI, L.; WANG, T.; ZHENG, X. A review of extrusion-modified underutilized cereal flour: chemical composition, functionality, and its modulation on starchy food quality, **Food Chemistry**, Barking, v. 370, 2022.

WANG, S.; COPELAND, L.; WANG, S. Structural changes of starch molecules during gelatinization: A review. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 250, p. 116-868, 2020.

WANG, S.; CHAO, C.; CAI, J.; NIU, B.; COPELAND, L.; WANG, S. Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 1056–1079, 2020.

WANG, Y.; WANG, Y. Effects of steam explosion on the structure and functional properties of starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 67, n.1-2, p. 1-10, 2015.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica, e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.4, p. 748-753, 2009.

- YAN, X.; WU, Z.; LI, M.; YIN, F.; REN, K.; TAO, H. The combined effects of extrusion and heat-moisture treatment on the physicochemical properties and digestibility of corn starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 134, p. 1108–1112, 2019.
- YE, F.; MIAO, M.; LU, K.; JIANG, B.; LI, X.; CUI, S. W. Estrutura e propriedades físico-químicas de nanopartículas modificadas à base de amidos de diferentes variedades de milho. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 67, p. 37-44, 2017.
- ZAMORA, G.; DE-REGIL, L.M. Equity in access to fortified maize flour and corn meal. **Annals of the New York Academy of Sciences**, New York, v. 1312, n. 1, p. 40-53, 2014.
- ZANOTTO, D. L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA, CNPSA, 1996. 5p.
- ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heatmoisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.
- ZHANG, X.; YAJUAN, J.; JIE ZEN, G.; GUANGLEI, L. Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties and digestive characteristics of sweet potato flour. **Food Science and Technology [online]**, Campinas, v. 42, n. e06922, 2022.
- ZHANG, H.; WANG, H.; CAO, X.; WANG, J. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review, **Food Research International**, Ottawa, v. 113, p. 24-35, 2018.
- ZHANG, X.; CHEN, Y.; ZHANG, R.; ZHONG, Y.; LUO, Y.; XU, S.; LIU, J.; XUE, J.; GUO, D. Effects of extrusion treatment on physicochemical properties and in vitro digestion of pregelatinized high amylose maize flour. **Journal of Cereal Science**, London, v. 68, p. 108–115, 2016.
- ZHENG, M.; XIAO, Y.; YANG, S.; LIU, H.; LIU, M.; YAQOUB, S.; XU, X.; LIU, J. Effects of heat–moisture, autoclaving, and microwave treatments on physicochemical properties of proso millet starch. **Food Science & Nutrition**, London, v. 8, n. 2, p. 735-743, 2020.
- ZOU, W.; DONG, X.; ZHAO, J. Impact of hydrothermal processing on starch structure and digestibility: A review. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 101, p. 105-439, 2020.
- ZHAO, Y.; ZHAO, C.; TANG, X.; ZHOU, J.; LI, H.; ZHANG, H.; LIU, J. Physicochemical properties and microstructure of corn flour–cellulose fiber extrudates. **Food Science & Nutrition**, London, v. 9, n. 5, p. 2497-2507, 2021.
- ZHOU, C.; WU, M.; SUN, D.; WEI, W.; YU, H.; ZHANG, T. Twin-Screw Extrusion of Oat: Evolutions of Rheological Behavior, Thermal Properties and Structures of Extruded Oat in Different Extrusion Zones. **Foods**, Basileia, v. 11, n. 15, p. 2206-2226, 2022.
- ZHOU, D.; MA, Z.; YIN, X.; HU, X.; BOYE, J. I. Structural Characteristics and Physicochemical Properties of Field Pea Starch Modified by Physical, Enzymatic, and Acid Treatments. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 93, p. 386-394, 2019.

ZOU, J.; XUA, M.; TANGA, H.; WENB, L.; YANG, B. Modification of structural, physicochemical and digestive properties of normal maize starch by thermal treatment. **Food Chemistry**, Barking, v. 309, p. 125733, 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A - FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL PÃO DE AREPA

1. Questionário sobre preferências dos participantes

1. Quanto você gosta de pão de milho?

- () Gosto muito
 () Gosto pouco
 () Indiferente
 () Desgosto pouco
 () Desgosto muito

2. Com que frequência você consome pão de milho?

- () Diariamente
 () 3 vezes na semana
 () 1 vez por semana
 () Quinzenalmente
 () Não consumo

2. Ficha de avaliação sensorial – Escala

	Escala 1 a 9					
Código amostra	Cor	Aparência	Aroma	Textura	Sabor	Impressão global

Escala de 1 a 9

- 9 – Gostei extremamente
 8 – Gostei muito
 7 – Gostei moderadamente
 6 – Gostei ligeiramente
 5 – Nem gostei, nem desgostei
 4 – Desgostei ligeiramente
 3 – Desgostei moderadamente
 2 – Desgostei muito
 1 – Desgostei extremamente

Código amostra	Intenção de compra

3. Intenção de compra

Escala de 1 a 5 - Intenção de compra

- 5 – Certamente compraria
 4 – Provavelmente compraria
 3 – Talvez comprasse/talvez não comprasse
 2 – Provavelmente não compraria
 1 – Certamente não compraria

Comentários: _____

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) a participar, como voluntário (a), da pesquisa intitulada **Desenvolvimento de farinha de milho pré-cozida para arepa a partir de subproduto da indústria de beneficiamento do milho**. Meu nome é Samara Tayná Pimenta Silva, sou o (a) pesquisadora responsável e minha área de atuação é Ciência e Tecnologia de Alimentos. Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, se você aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está impresso em duas vias, sendo que uma delas é sua e a outra ficará comigo. Esclareço que em caso de recusa na participação, em qualquer etapa da pesquisa, você não será penalizado (a) de forma alguma. Mas se aceitar participar, as dúvidas sobre a pesquisa poderão ser esclarecidas pelo (a) pesquisador (a) responsável, via e-mail samara.engenharia@gmail.com e, através do(s) seguinte(s) contato(s) telefônico(s): (62) 99103-0533, inclusive com possibilidade de ligação a cobrar. Ao persistirem as dúvidas sobre os seus direitos como participante desta pesquisa, você também poderá fazer contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa** da Universidade Federal de Goiás, pelo telefone (62)3521-1215, que a instância responsável por dirimir as dúvidas relacionadas ao caráter ético da pesquisa. O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás (CEP-UFG) é independente, com função pública, de caráter consultivo, educativo e deliberativo, criado para proteger o bem-estar dos/das participantes da pesquisa, em sua integridade e dignidade, visando contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos vigentes.

A presente pesquisa tem como objetivo geral verificar o potencial de utilização do subproduto gerado no processamento de flocão de milho, proveniente da empresa Medeiros Alimentos, para obtenção da farinha de milho pré-cozida e moída para Arepa, visando atingir o mercado de exportação. Você será entrevistado por meio de um questionário escrito com perguntas objetivas e para isso deverá reservar um período de 10 minutos. Você tem direito ao ressarcimento das despesas decorrentes da cooperação com a pesquisa, inclusive transporte e alimentação, se for o caso.

Em caso de danos, você tem o direito de pleitear indenização, conforme previsto em Lei. Se você não quiser que seu nome seja divulgado, está garantido o sigilo que assegure a privacidade e o anonimato. As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas. Os riscos mínimos que a pesquisa oferece aos participantes são o cansaço para executar as atividades propostas pela pesquisa, constrangimento e riscos emocionais, como os potenciais, individuais ou coletivos, risco de alergias alimentares a algum componente presente na formulação do produto, conforme o (Quadro 1) apresentado abaixo, sendo eles alérgicos a soja, leite e derivados, comprometendo-se com o máximo de benefícios através da aceitação ou não do produto elaborado assim como sua intenção de compra e o mínimo de danos e riscos onde os participantes deverão permanecer no local por cerca de 15 minutos após a ingestão dos produtos, pois caso ocorra reação alérgica a pesquisadora deverá tomar as providências e se responsabilizará por encaminhar o participante a uma unidade de saúde.

Durante todo o período da pesquisa e na divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de alguma forma, identificar-lhe, será mantido em sigilo. Todo material ficará sob minha guarda por um período mínimo de cinco anos.

Quadro 1. Proporção dos ingredientes da formulação padrão dos pães de arepa

Ingrediente	%
Farinha de milho pré-cozida	41,66
Leite	30,55
Queijo muçarela	23,33
Manteiga	3,88
Sal	0,42
Total	100

Para condução da entrevista é necessário o seu consentimento para:

Pode haver também a necessidade de utilizarmos sua opinião em publicações, faça uma rubrica entre os parênteses da opção que valida sua decisão:

- () Permito a divulgação da minha opinião nos resultados publicados da pesquisa.
 () Não Permito a divulgação da minha opinião nos resultados publicados da pesquisa.

Pode haver também a necessidade de utilizarmos sua imagem em publicações, faça uma rubrica entre os parênteses da opção que valida sua decisão:

- () Permito a divulgação da minha imagem nos resultados publicados da pesquisa.
 () Não Permito a divulgação da minha imagem nos resultados publicados da pesquisa.

Pode haver necessidade de dados coletados em pesquisas futuras, desde que seja feita nova avaliação pelo CEP/UFG. Assim, solicito a sua autorização, validando a sua decisão com uma rubrica entre os parênteses abaixo:

- () Permito a utilizar esses dados para pesquisas futuras.
 () Não Permito a utilizar esses dados para pesquisas futuras.

Declaro que os resultados da pesquisa serão tornados públicos, sejam eles favoráveis ou não.

1.2 Consentimento da Participação na Pesquisa:

Eu,, abaixo assinado, concordo em participar do estudo intitulado **Desenvolvimento de farinha de milho pré-cozida para arepa a partir de subproduto da indústria de beneficiamento do milho**. Informo ter mais de 18 anos de idade e destaco que minha participação nesta pesquisa é de caráter voluntário. Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) responsável Samara Tayná Pimenta Silva sobre a pesquisa, os procedimentos e métodos envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação no estudo. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Declaro, portanto, que concordo com a minha participação no projeto de pesquisa acima descrito.

Goiânia, de de

Assinatura por extenso do(a) participante



Assinatura por extenso do(a) pesquisador(a) responsável

Testemunha 1: _____

Testemunha 2: _____

APÊNDICE C – ANÁLISES DE VARIÂNCIA (ANOVA) E TESTES DE TUKEY

APÊNDICE C – Médias e Desvios-Padrão

Apêndice C 1.1. Média dos dados experimentais de cor do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas (FFMS).

Parâmetro ¹	Resíduo	FFEx	FFEs	FFA
Luminosidade	92,07 ± 0,08	85,92 ± 0,41 ^c	95,21 ± 0,09 ^a	88,50 ± 0,20 ^b
Croma a*	2,93 ± 0,12	3,35 ± 0,18 ^a	0,63 ± 0,07 ^b	3,18 ± 0,06 ^a
Croma b*	27,73 ± 0,21	32,59 ± 0,63 ^a	14,91 ± 0,17 ^c	18,72 ± 0,52 ^b
Cromaticidade	27,88 ± 0,21	32,76 ± 0,65 ^a	14,92 ± 0,17 ^c	18,99 ± 0,51 ^b
Ângulo Hue ²	83,98 ± 0,23	84,14 ± 0,23 ^a	87,70 ± 0,26 ^a	80,34 ± 0,36 ^a

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ²grau (°).

APÊNDICE D – Análise de Variância – ANOVA

Apêndice D 1.1. Análise de variância para o grau de tonalidade H° do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	63540,97	1	63540,97	708898,8	0,000000
Tratamento	78,90	2	39,45	440,1	0,000000
Erro	0,54	6	0,09		

Apêndice D 1.2. Análise de variância para o valor de saturação C* do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	4444,444	1	4444,444	18906,27	0,000000
Tratamento	524,508	2	262,254	1115,61	0,000000
Erro	1,410	6	0,235		

Apêndice D 1.3. Análise de variância para o parâmetro de cor b* do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	4384,647	1	4384,647	18659,84	0,000000
Tratamento	519,619	2	259,809	1105,68	0,000000
Erro	1,410	6	0,235		

Apêndice D 1.4. Análise de variância para o parâmetro de cor a* do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	51,26560	1	51,26560	3763,380	0,000000
Tratamento	13,98087	2	6,99043	513,164	0,000000
Erro	0,08173	6	0,01362		

Apêndice D 1.5. Análise de variância para o valor de luminosidade L* do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	72700,34	1	72700,34	1005537	0,000000
Tratamento	137,98	2	68,99	954	0,000000
Erro	0,43	6	0,07		

APÊNDICE E - Médias e Desvios-Padrão

Apêndice E 2.1. Média dos dados experimentais de atividade de água (Aw), acidez total, composição centesimal (base úmida) e valor energético total (VET) (média \pm desvio padrão) do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas (FFMS).

Parâmetro*	Resíduo	FFEx	FFE _s	FFA
Aw ¹	0,44 \pm 0,01	0,39 \pm 0,02 ^a	0,35 \pm 0,03 ^a	0,30 \pm 0,03 ^a
Acidez total ²	3,58 \pm 0,22	3,63 \pm 0,28 ^b	3,63 \pm 0,19 ^b	5,60 \pm 0,41 ^a
Umidade ³	10,47 \pm 0,15	7,97 \pm 0,04 ^a	4,95 \pm 0,11 ^c	5,85 \pm 1,34 ^b
Cinzas ³	0,24 \pm 0,02	0,17 \pm 0,04 ^b	0,24 \pm 0,05 ^a	0,19 \pm 0,09 ^b
Lipídios ³	0,75 \pm 0,13	0,18 \pm 0,08 ^c	0,42 \pm 0,22 ^a	0,24 \pm 0,05 ^b
Proteína ³	3,68 \pm 0,16	3,22 \pm 0,59 ^b	3,41 \pm 1,21 ^b	4,64 \pm 0,12 ^a

Fibra total ³	3,83 ± 0,81	2,67 ± 1,09 ^c	3,11 ± 0,69 ^b	10,20 ± 2,07 ^a
Carboid. dig. ³	81,03 ± 0,24	85,79 ± 0,54 ^a	87,87 ± 1,37 ^a	78,88 ± 1,58 ^b
Valor Energ. ⁴	353,25 ± 1,26	363,00 ± 0,27 ^b	375,12 ± 1,15 ^a	356,64 ± 5,54 ^b

*Médias seguidas de diferentes letras na mesma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ¹ adimensional; ² %; ³ g 100 g⁻¹; ⁴ kcal 100 g⁻¹

APÊNDICE F – Análise de Variância (ANOVA)

Apêndice F 2.2. Análise de variância para o valor de umidade do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas (FFMS)

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	403,6081	1	403,6081	518,7252	0,000000
Tratamento	1891,43	2	9,4571	12,1545	0,007758
Erro	4,6685	6	0,7781		

APÊNDICE G – Teste de Tukey

Apêndice G 2.3. Teste de Tukey para o valor de umidade do resíduo finos em relação aos diferentes métodos de obtenção das farinhas de finos modificadas (FFMS)

Tratamento	Diferença de Médias	p-valor 1	p-valor 2	p-valor 3
1	8,6605		0,007328	0,034297
2	5,2049	0,007328		0,391605
3	6,2247	0,034297	0,391605	

APÊNDICE H – Médias e Desvios-Padrão

Apêndice H 3.1. Dados experimentais de índice de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO), e índice de solubilidade em água (ISA) (média ± desvio padrão) do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas (FFMS).

Parâmetro*	Resíduo	FFEx	FFE _s	FFA
IAA ¹	2,57 ± 0,02	13,49 ± 0,20 ^a	2,45 ± 0,07 ^c	3,34 ± 0,01 ^b
IAO ²	2,75 ± 0,04	2,30 ± 0,07 ^{ab}	2,23 ± 0,06 ^b	2,44 ± 0,07 ^a
ISA ³	1,03 ± 0,08	58,96 ± 0,82 ^a	3,15 ± 0,34 ^b	3,52 ± 0,15 ^b

*Médias seguidas de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ¹ g gel g⁻¹ de matéria seca; ² g precipitado. g⁻¹ de matéria seca; ³ %.

APÊNDICE I – Análise de Variância (ANOVA)

Apêndice I 3.2. Análise de variância para o índice de absorção de água (IAA) do resíduo finos em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	371,5385	1	371,5385	24495,94	0,000000
Tratamento	225,8873	2	112,9436	7446,50	0,000000
Erro	0,0910	6	0,0152		

Apêndice I 3.3. Análise de variância para o índice de absorção de óleo (IAO) do resíduo finos em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	48,55720	1	48,55720	11696,99	0,000000
Tratamento	0,06518	2	0,03259	7,85	0,021138
Erro	0,02491	6	0,00415		

APÊNDICE J – Médias e Desvios-Padrão

Apêndice J 4.1. Dados experimentais das propriedades térmicas das amostras do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas (FFMS).

TRAT ¹	Tinicial (°C)	Tpico (°C)	Tfinal (°C)	ΔH (J/g)
Resíduo	66,77 ± 0,73	72,80 ± 0,14	79,16 ± 1,44	3,80 ± 0,48
FFEx	116,04 ± 6,84 ^a	116,50 ± 6,67 ^a	121,76 ± 5,99 ^a	1,12 ± 0,16 ^c
FFE	68,28 ± 0,75 ^b	73,26 ± 0,47 ^b	80,01 ± 3,54 ^b	3,84 ± 0,77 ^a
FFA	54,86 ± 0,48 ^c	60,86 ± 0,08 ^c	69,65 ± 0,48 ^c	2,95 ± 0,14 ^b

Os resultados são apresentados como a média de duas repetições ± desvio-padrão. Letras diferentes nas colunas mostram diferenças estatísticas entre os tratamentos (p<0,05). ¹Tratamento: FFEx (modificação física em extrusora), FFEs (modificação física em estufa); FFA (modificação física em autoclave) e Resíduo “finos” da farinha de milho flocada.

APÊNDICE L – Análise de Variância (ANOVA)

Apêndice L 4.2. Análise de variância para o valor de temperatura inicial (Tinicial) das amostras do resíduo finos em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	41580,05	1	41580,05	606,0533	0,000147
Tratamento	5307,94	2	2653,97	38,6832	0,007212
Erro	205,82	3	68,61		

Apêndice L 4.3. Análise de variância para a temperatura de pico (Tpico) das amostras do resíduo finos em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	37390,72	1	37390,72	676,8962	0,000125
Tratamento	6091,82	2	3045,91	55,1411	0,004310
Erro	165,72	3	55,24		

Apêndice L 4.4. Análise de variância para a temperatura final (Tfinal) das amostras do resíduo finos em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	41580,05	1	41580,05	606,0533	0,000147
Tratamento	5307,94	2	2653,97	38,6832	0,007212
Erro	205,82	3	68,61		

Apêndice L 4.5. Análise de variância para a entalpia (ΔH) das amostras do resíduo finos em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	534,1153	1	534,1153	3,998813	0,139366
Tratamento	535,0249	2	267,5124	2,002811	0,280228
Erro	400,7055	3	133,5685		

APÊNDICE M – Médias e Desvios-Padrão

Apêndice M 5.1. Dados experimentais de propriedades de pasta (média \pm desvio padrão) do resíduo “finos”, obtido no processamento da farinha de milho flocada, e das farinhas de finos modificadas (FFMS).

RVA	Resíduo	FFEx	FFE _s	FFA
TpP ¹	67,21 \pm 0,53	76,82 \pm 11,70 ^a	64,72 \pm 1,21 ^b	79,16 \pm 1,48 ^a
Vl ²	89,75 \pm 6,50	319,67 \pm 49,41 ^a	86,56 \pm 6,73 ^b	91,83 \pm 4,45 ^b
PV ²	2312,75 \pm 49,95	349,67 \pm 13,87 ^b	2109,78 \pm 114,00 ^a	48,17 \pm 3,71 ^c
VF ²	3805,75 \pm 27,16	200,33 \pm 0,58 ^b	2888,89 \pm 162,14 ^a	67,17 \pm 3,92 ^c
VQ ²	330,25 \pm 25,62	242,33 \pm 14,05 ^b	549,56 \pm 95,14 ^a	3,50 \pm 0,84 ^c
TR ²	1823,25 \pm 34,86	93,00 \pm 1,73 ^b	1328,67 \pm 138,41 ^a	22,50 \pm 1,97 ^c
TP ³	5,55 \pm 0,03	1,31 \pm 0,24 ^b	5,51 \pm 0,10 ^a	6,59 \pm 0,27 ^a

TpP (Temperatura de pasta); VI (Viscosidade inicial); PV (Pico de viscosidade); VF (Viscosidade final); VQ (Quebra de viscosidade); TR (Retrogradação); TP (Tempo de pico). Resíduo "finos" da farinha de milho flocada; FFEx (Farinha de finos extrusada); FFEs (Farinha de finos em estufa) e FFA (Farinha de finos em autoclave). Diferentes letras minúsculas na mesma linha mostram diferenças estatísticas entre os tratamentos de modificação ($p < 0,05$). ¹°C; ²cP, centipoise; ³ min.

APÊNDICE N – Análise de Variância (ANOVA)

Apêndice N 5.2. Análise de variância para viscosidade inicial (VI) das amostras do resíduo “finos” em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	2725064	1	2725064	2986,298	0,000000
Tratamento	4593286	2	2296643	2516,807	0,000000
Erro	5475	6	913		

Apêndice N 5.3. Análise de variância para pico de viscosidade (PV) das amostras do resíduo “finos” em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	5388078	1	5388078	973,0194	0,000000
Tratamento	8071341	2	4035671	728,7916	0,000000
Erro	33225	6	5537		

Apêndice N 5.4. Análise de variância para viscosidade final (VF) das amostras do resíduo “finos” em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	9190316	1	9190316	809,2822	0,000000
Tratamento	15885485	2	7942742	699,4232	0,000000
Erro	68137	6	11356		

Apêndice N 5.5. Análise de variância para quebra de viscosidade (VQ) das amostras do resíduo “finos” em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

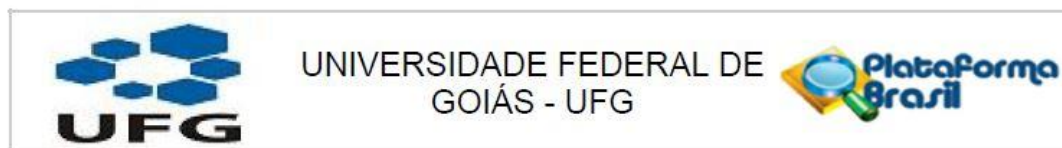
Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	449498,7	1	449498,7	199,9148	0,000008
Tratamento	498260,0	2	249130,0	110,8007	0,000018
Erro	13490,7	6	2248,5		

Apêndice N 5.6. Análise de variância para retrogradação (TR) das amostras do resíduo “finos” em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	1906553	1	1906553	308,6160	0,000002
Tratamento	3394726	2	1697363	274,7542	0,000001
Erro	37067	6	6178		

Apêndice N 5.7. Análise de variância para o tempo de pico (TP) das amostras do resíduo “finos” em comparação com as farinhas de finos modificadas (FFMS).

Fonte de variação	Quadrado do Erro (SQ)	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	F - Valor	P - Valor
Média	174,7684	1	174,7684	1107,375	0,000000
Tratamento	37,2641	2	18,6320	118,057	0,000015
Erro	0,9469	6	0,1578		

ANEXOS**ANEXO A - COMPROVANTE APROVAÇÃO DO PROJETO PELO
COMITÊ DE ÉTICA****PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: DESENVOLVIMENTO DE FARINHA DE MILHO PRÉ-COZIDA PARA AREPA A PARTIR DE SUBPRODUTO DA INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DO MILHO

Pesquisador: SAMARA TAYNA PIMENTA SILVA

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 76241423.2.0000.5083

Instituição Proponente: Universidade Federal de Goiás - UFG

Patrocinador Principal: Capes Coordenação Aperf Pessoal Nivel Superior

DADOS DO PARECER

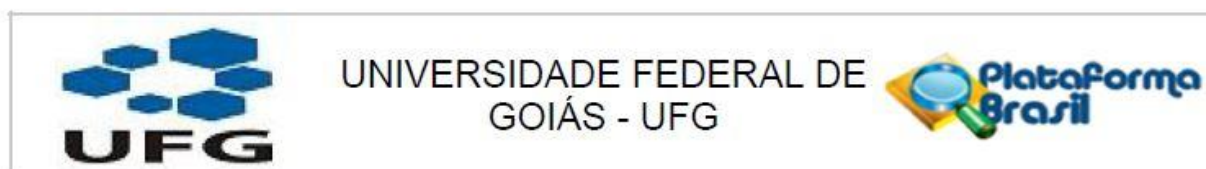
Número do Parecer: 6.764.100

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não



Continuação do Parecer: 6.764.100

GOIANIA, 15 de Abril de 2024

Assinado por:
Marilúcia Lago
(Coordenador(a))

ANEXO B – LAUDOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICA

LCHSA
Laboratório de Controle
Higiênico Sanitário de
Alimentos

FANUT
FACULDADE DE NUTRIÇÃO



LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

<p>Número da Amostra: 15/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Pão de arepa 100% (substituição de subproduto por farinha de milho comercial)</p>	<p>Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024</p>
---	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp</i> /25g	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	< 10 x 10 ¹ UFC/g	10 ² UFC/g
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	< 1,0 x 10 ¹ UFC/g	10 UFC/g
Bolores e leveduras (UFC/g)	< 100 x 10 ¹ UFC/g	5x10 ² UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 d” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de 2024.

Endereço: Rua 227 Qd 68 s/nº Setor Leste
Universitário – CAMPUS I.

CEP: 74.605-080

PABX: (62) 3209-6270-Ramal
215/219

FAX: (62) 3209-6273
Site: www.fanut.ufg.br

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 16/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Pão de arepa 40% (substituição de subproduto por farinha de milho extrusada)	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
--	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
Bacillus cereus presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
Escherichia coli (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g
Bolores e leveduras (UFC/g)	$< 100 \times 10^1$ UFC/g	5×10^2 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 d” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de
2024.

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 17/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Pão de arepa 30% (substituição de subproduto por farinha de milho extrusada)	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
--	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g
Bolores e leveduras (UFC/g)	$< 100 \times 10^1$ UFC/g	5×10^2 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 d” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de
2024.

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 18/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Pão de arepa 20% (substituição de subproduto por farinha de milho extrusada)	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
--	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
Bacillus cereus presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
Escherichia coli (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g
Bolores e leveduras (UFC/g)	$< 100 \times 10^1$ UFC/g	5×10^2 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 d” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de
2024.

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 19/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Farinha de milho modificada em autoclave	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
---	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
Bacillus cereus presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
Escherichia coli (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 a” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de
2024.

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 20/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Farinha de milho modificada em estufa	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
--	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 a” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de
2024.

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 21/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Subproduto do Flocão de Milho	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
---	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 a” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de
2024.

LAUDO DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE ALIMENTOS

Número da Amostra: 22/2024 Data da Entrada: 23/04/2024 Local: Labdarsa/Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás Endereço: Av. Esperança s/n, Campus Samambaia, CEP 74.690-900 Município/UF: Goiânia, Goiás Telefone: 62 99103-0533 Requisitante: Samara Tayná / Labdarsa Material: Farinha de milho modificada em extrusão	Tipo de Análise: Orientação Características: Material Sólido Data da Coleta: 23/04/2024 Responsável pela Coleta: Samara Tayná Início da Análise: 23/04/2024 Término da Análise: 03/05/2024
--	---

Método Analítico: Estabelecido pela American Public Health Association – APHA, 2001.

RESULTADO DA ANÁLISE


ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS ENCONTRADOS NA ANÁLISE	LIMITES PERMITIDOS (VMP*) (MS – ANVISA – RDC 12ª)
<i>Salmonella sp</i> /25g	Ausência em 25g	Ausência em 25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	$< 10 \times 10^1$ UFC/g	10^2 UFC/g
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	$< 1,0 \times 10^1$ UFC/g	10 UFC/g

VMP: Valor Máximo Permitido

Laudo: Amostra de acordo aos padrões estabelecidos pelo item “19 a” da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022.

Observação: ANÁLISE DE ORIENTAÇÃO SOBRE A AMOSTRA RECEBIDA.
Responsável pela Análise: M^a. Camilla Alves Pereira Rodrigues

Goiânia, 13 de maio de 2024.

Documento assinado digitalmente
 CAMILLA ALVES PEREIRA RODRIGUES
Data: 13/05/2024 10:32:22-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Ma. Camilla Alves Pereira Rodrigues
Vice coordenadora do LCHSA/FANUT/UFG